

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

William DE BREUCK

Fakulteit van de Wetenschappen

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VAN HET PLASSENGBIED VAN MOL

DR. J.-P. CNUDE

Tekst

1978

Leerstoel voor toegepaste Geologie

DIR.: PROF. DR. W. DE BREUCK

TGO - 78 - 1

RIJKSUNIVERSITEIT GENT

Fakulteit van de Wetenschappen

HYDROGEOLOGISCHE STUDIE VAN HET PLASSENGBIED VAN MOL

DR. J.-P. CNUDDÉ

Tekst

1978

Leerstoel voor toegepaste Geologie

DIR.: PROF. DR. W. DE BREUCK

INHOUD

1. INLEIDING	1
2. SITUERING	3
3. GEOLOGIE	5
4. BORINGEN	8
4.1. Algemeen	8
4.2. Resultaten	8
5. SEDIMENTOLOGISCH ONDERZOEK	10
5.1. Algemeen	10
5.2. Resultaten	10
5.3. Bespreking	12
5.4. Besluit	13
6. WATERPASSING	15
7. HYDROCHEMISCH ONDERZOEK	16
8. POMPPROEVEN	19
8.1. Algemeen	19
8.2. Pompproef op HB42quater	19
8.3. Aard en dikte van de waterlagen	19
8.4. Pompproeven met groot debiet	20
8.4.1. Korrekties van de waarnemingen	20
8.4.2. Pompproef op DB1	21
8.4.3. Pompproef op DB11	22
8.5. Besluit	23
9. HYDROLOGISCHE BALANS	24
9.1. Algemeen	24
9.2. Meteorologische gegevens en hun verwerking	25
9.2.1. De potentiële evapotranspiratie	25
9.2.2. De werkelijke evapotranspiratie; de berging van de bodem; het deficit en de aanvulling van het grondwater	26
9.2.3. De verwerking van de meteorologische gegevens..	27

9.3. Piëzometrische gegevens	28
9.4. De bepaling van de transmissiviteit uit het sedimento- logisch onderzoek, de pompproeven en de geologische waarnemingen	28
9.5. De bergingsverandering	31
9.6. De irrigatie en het opgepompt water	32
9.7. De oppervlakkige aan- en afvoer	32
9.8. De hydrologische balans	33
9.9. Besluit	33
10. INPLANTING VAN DE WATERWINNING	34
11. ALGEMEEN BESLUIT	36

BIBLIOGRAFIE

DANKWOORD

FIGUREN

- Fig. 1 - Studiegebied
- Fig. 2 - Plaats van de boringen
- Fig. 3 - Boringsprofielen
- Fig. 4 - Porositeit, specifiek debiet en specifiek ophoudingsvermogen voor sedimenten uit het zuidelijke kustbekken van Californië (naar ECKIS, ROLLIN, 1954). Op de abscis wordt de 10% korrelgrootte in mm van de gekumuleerde kurve, die met de grootste fraktie aanvangt, aangegeven
- Fig. 5 - Piper-diagram van de wateranalysen
- Fig. 6 - Pompproef in HB42quater, residuele daling
- Fig. 7 - Pompproef in DB1, afstand-daling (zonder verbetering voor de onvolledige filterlengte) na 12926 minuten
- Fig. 8 - Aanpassing van filterlengte wegens onvolledige filter
- Fig. 9 - Pompproef in DB1, tijd-daling in de piëzometers DB2F1, DB2F2, DB5, DB7, DE9 en DE12
- Fig. 10 - Pompproef in DE1, tijd-daling in de piëzometers DB2F1 en DB2F2
- Fig. 11 - Pompproef in DB1, residuele daling in de piëzometers DB1, DB2F1, DB2F2 en DB11
- Fig. 12 - Pompproef in DB1, residuele daling in de piëzometers DB5, DB7 en DB9
- Fig. 13 - Pompproef in DB11, tijd-daling in de piëzometers DB1, DB2F2 en DB12
- Fig. 14 - Pompproef in DE11, tijd-daling in de piëzometers DB5, DB7 en DB9
- Fig. 15 - Pompproef in DB11, afstand-daling na 4500 minuten
- Fig. 16 - Pompproef in DB11, tijd-daling in piëzometer DB2F2
- Fig. 17 - Pompproef in DB11, residuele daling in piëzometer DB11
- Fig. 18 - Pompproef in DB11, residuele daling in de piëzometers DB1 en DB12
- Fig. 19 - Pompproef in DB11, residuele daling in piëzometer DB2F1
- Fig. 20 - Pompproef in DE11, residuele daling in de piëzometers DB5 en DB7
- Fig. 21 - Pompproef in DB11, residuele daling in piëzometer DB9
- Fig. 22 - Hydro-isohypsen van de freatische laag (27-28/10/1977)

TABELLEN

- Tabel 1 - De waarde van de voornaamste parameters uit het sedimentologisch onderzoek voor ieder monster
- Tabel 2 - De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel (S_o) afgeleid uit d_{90} voor de monsters uit de handboringen evenals het gemiddelde voor iedere groep
- Tabel 3 - De maximum- en minimumwaarde van de voornaamste parameters uit het sedimentologisch onderzoek voor de verschillende groepen
- Tabel 4 - De berekening van de transmissiviteiten uit de permeabiliteiten
- Tabel 5 - Resultaten van de waterpassing van de handboringen
- Tabel 6 - Waterpassing van de diepe boringen
- Tabel 7 - Voornaamste resultaten uit de wateranalyses
- Tabel 8 - Verandering van de kwaliteit van het water met de diepte
- Tabel 9 - Resultaten van de eerste pompproef (DB1)
- Tabel 10 - Resultaten van de tweede pompproef (DB11)
- Tabel 11 - De hoeveelheid neerslag (R), de aanvulling (SUR) evenals de voedingscoëfficiënt ($\frac{SUR}{R}$) voor de periode 1956-1975
- Tabel 12 - De gemiddelde maandelijkse temperatuur, de neerslag, het overschot en de voedingscoëfficiënt voor de periode 1956-1975 evenals de gemiddelde temperatuur, de neerslag en het afgeleide overschot per maand voor de periode mei 1977 - april 1978
- Tabel 13 - De verbeterde permeabiliteit, per groep afzettingen, (O.C.W., ERNST, gemiddelde)
- Tabel 14 - Gemiddelde dikte van de sedimentgroepen aan de westelijke en oostelijke grens van het gebied
- Tabel 15 - De evolutie van de hydraulische factoren per sectie
- Tabel 16 - De stijging (+) of daling (-) van het gemiddelde waterpeil (Δh), de bergingsverandering ΔS per maand, en de totale bergingsverandering $\Delta S_{(T)}$ (met inbegrip van het ontzande volume)
- Tabel 17 - De hydrologische balans

1. INLEIDING

Op 27 maart 1977 werd de Leerstoel voor Toegepaste Geologie van de Rijksuniversiteit te Gent belast met de uitvoering van een hydrogeologische studie van het plassen gebied van Mol, voor rekening van het Staatssekretariaat voor Bossen, Jacht en Visvangst, toegevoegd aan het Ministerie van Vlaamse Aangelegenheden, en van het Ministerie van Volksgezondheid.

In die studie zou vooral aandacht besteed worden aan de volgende aspecten :

- de litologische opbouw en de hydrologische kenmerken van de bovenste laag,
- de hydrologische balans van het beschouwde gebied, rekening houdend met gegevens van de klimatologie en van de oppervlaktewateren,
- de evaluatie van de mogelijkheid tot het onttrekken van een hoeveelheid water van 50.000 m^3 per dag en zijn invloed op het Diestiaan.

In verband met het laatste aspect werd verwacht dat de studie de nodige gegevens zou leveren om

- de waterwinning op de gunstigste plaats in te planten,
- de omvang van de beschermingszone te bepalen,
- de invloed op de landbouw en het plantendek te voorspellen.

De werkzaamheden op het terrein omvatten 58 handboringen, een pompproef op een met de hand geboorde put, 13 diepe mechanische boringen, twee pompproeven op de diepe lagen en een waterpassing van de punten.

De handboringen werden uitgevoerd in een periode die liep van december 1976 tot april 1977. De putten werden uitgebouwd tot piëzometers. Twee van deze piëzometers werden in de loop van de studie vernietigd. Naderhand werd voor de uitvoering van een pompproef en de waarnemingen van een peilverandering in de plas van Rouw, een aantal bijkomende putten geboord.

De kleine pompproef gebeurde op 14 juli 1977.

De boringen ten behoeve van de pompproeven in het freatische reservoir werden aanbesteed op 19 januari 1977. Ze werden uitgevoerd door de firma SMET-DB van 13 maart 1977 tot 23 maart 1977. De pompproeven vingen aan op 28 maart 1977 en duurden tot 4 mei 1977.

Alle punten werden opgemeten door waterpassing, in juni 1977 (voor de handboringen) en in mei 1978 (voor de diepe boringen).

2. SITUERING

Het gebied (fig. 1) met een oppervlakte van ongeveer 5000 ha bevindt zich volledig op het kaartblad Mol 17-2 van de topografische kaart van het N.G.I. en behoort hoofdzakelijk tot de gemeenten Mol en Dessel (provincie Antwerpen).

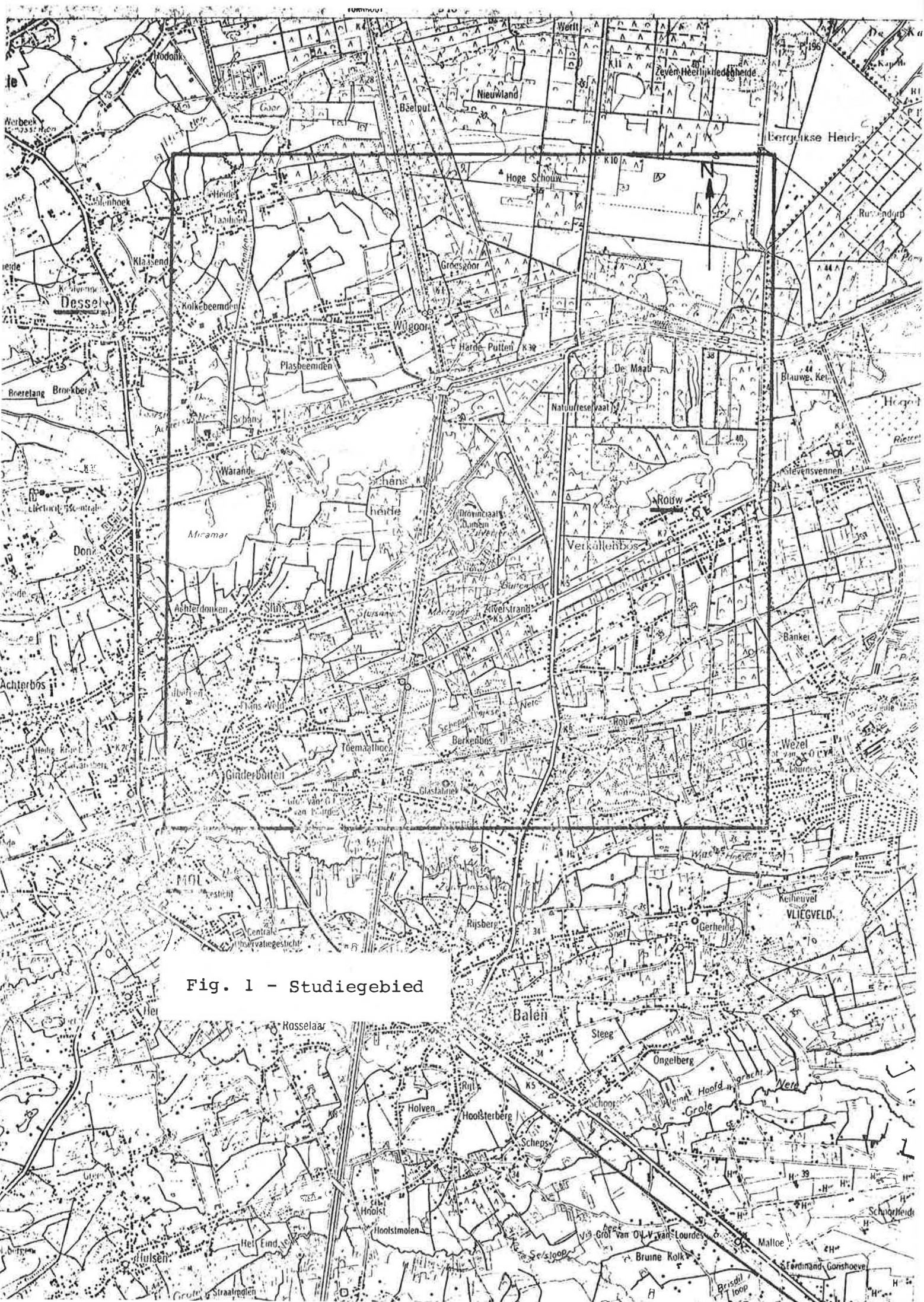
In dit gebied, gelegen in het zuidwesten van de Noordelijke Kempen, stijgt het reliëf gelijkmatig van ca. +25^x in het westen naar ca. +45 in het oosten. De talrijke "plassen" (ca. 400 ha) in dit gebied zijn vooral het gevolg van zandwinningen maar ook gedeeltelijk van vroegere kleinere sprietontginningen. Het gebied bevat een uitgebreid irrigatiestelsel en wordt gedraineerd door beken en grachten, die evenwijdig aan elkaar van oost naar west lopen en die behoren tot de bekkens van de Kleine Nete en van de Grote Nete.

De valleigebieden tekenen zich niet af door uitgesproken reliëfsverschillen. Het bekken van de Kleine Nete omvat, van noord naar zuid, de Kolkenete, de Voorste Nete, de Achterste Nete, de Witte Nete met als bijrivieren de Waterstraatloop, de Peerloop, de Beemdenloop en de Morlenloop en verder de Vleminckloop. In het bekken van de Grote Nete treft men de Scheppeleikse Nete met de Krolloop aan.

Plaatselijk onderbreken landduinen het vlakke karakter. Deze duinen zijn gebonden aan de waterlopen en komen voor als afzonderlijke duinkomplexen (o.m. in de omgeving van Rouw en nabij de Scheppeleikse Nete). Men kan op grond van het hoogteverschil twee landschappen onderscheiden : 1° een oostelijk gekenmerkt door talrijke dennenaanplantingen (vooral op zandgronden) en uitgestrekte kunstmatige irrigatiegebieden, 2° een westelijk gekenmerkt door belangrijke oppervlakten oud-kultuurland; in dit laatste komen meer lemig-zandgronden voor. In de omgeving van de bewoonde kernen doet men aan land- en tuinbouw; verder van de bewoning is naalddhout aangeplant.

Het gebied heeft een geringe bevolkingsdichtheid; de voornaamste kernen zijn de wijken Sluis, Frans Veld en Rouw van de gemeente Mol en de wijken Witgoor en Heide van de gemeente Dessel. Er heerst een belangrijke

^x Alle peilen zijn aangegeven in meter t.o.v. het referentievlak T.A.W. (Tweede Algemene Waterpassing) van het N.G.I.



industriële aktiviteit (glas, zandwinning). Het gebied wordt doorkruist door het verbindingskanaal Maas-Schelde met vertakkingen naar Turnhout, naar het Albertkanaal (Kwaadmechelen) en naar Beverlo.

3. GEOLOGIE

In de omgeving van Rouw werd van 1935 tot 1937 een boring^x tot 203⁴ meter diepte geslagen.

Deze gaf volgend profiel te zien (JONGMANS, 1937) :

	aangeboord op een diepte (m) van
Pleistoceen	0
Amstelliaan	18
Diestiaan	50
Bolderiaan	150
Rupeliaan	201
Tongeriaan-Assiaan	245
Wemmeliaan	348
Lediaan-Brusseliaan	373
Paniseliaan	382
Ieperiaan	400
Landeniaan	570
Heersiaan	607
Maastrichtiaan	613
Senoon	679
Herviaan	838
Karboon (Paleozoïcum)	891

Hieruit blijkt dat een zandig complex van circa 200 meter dikte rust op een kleilig complex van meer dan 100 meter. Het onderste deel (63 m) van dit laatste bestaat waarschijnlijk uit Klei van Asse, het bovenste (44 m) uit Klei van Boom.

Het zandig complex bestaat volgens recente litostratigrafische onderzoekingen van onder naar boven uit Zand van Voort, Zand van Antwerpen, Zand van Dessel, Zand van Diest, Zand van Kasterlee en Zand van Mol, plaatselijk bedekt door enkele meters jongere kwartaire afzettingen.

^xBoring nr. 197 in het dossier 31E van de Geologische Dienst van België.

a. Zand van Voort (Formatie van Voort, Boven-Oligoceen)

Volgens M. GULINCK (1954) kan men op grond van de mollusken-fauna tussen de Klei van Boom en het Zand van Antwerpen stratigrafisch het Zand van Voort onderscheiden. De aanwezigheid van die formatie werd in enkele meer oostelijk gelegen boringen aangetoond. Ze bestaat uit donkergroen glaukoniet- en fossielhoudend zand overgaand in glaukoniethoudend sterk kleig zand.

b. Zand van Antwerpen (Formatie van Antwerpen, Midden-Mioceen)

Het Zand van Antwerpen bestaat uit donkergroen tot zwart glaukonietrijk (40 tot 80%) goed gesorteerd fijn tot middelmatig kleig zand met plaatselijk dikke schelplagen. De dikte van de afzetting in het gebied bedraagt 30 tot 35 meter.

c. Zand van Dessel (Formatie van Diest, Boven-Mioceen)

Het Zand van Dessel bestaat uit een grijsgroen foraminiferenrijk glimmer- en glaukoniethoudend zeer fijn zand. Onderaan bevindt zich een duidelijk ontwikkeld basisgrint. De dikte van het Zand van Dessel in het gebied bedraagt waarschijnlijk 40 tot 60 meter.

d. Zand van Diest (Formatie van Diest, Boven-Mioceen)

Het Zand van Diest is een grijsgroen tot bruinachtig glaukoniethoudend plaatselijk kleig, meestal grof zand met lagen ijzerzandsteen. Een kleige laag zou de scheiding vormen met het Zand van Kasterlee. De dikte van het Zand van Diest zou er ongeveer 70-90 meter bedragen.

e. Zand van Kasterlee (Formatie van Kasterlee, Onder-Pliocene)

Het Zand van Kasterlee is een grijs glimmerhoudend enigszins glaukoniethoudend fijn zand met lenzen glimmerhoudende klei. Aan de basis bevat het plaatselijk grint. Onderaan is het zand grijsgroen en bevat veel glaukoniet en glimmers. Het Zand van Kasterlee is dikwijls moeilijk van het Zand van Diest te onderscheiden. Het heeft een dikte van gemiddeld 15 meter.

f. Zand van Mol (Formatie van Mol, Boven-Pliocene tot Oud-Pleistoceen)

Het Zand van Mol bestaat uit wit fijn tot zeer grof zand met talrijke grintniveaus en glimmerhoudende kleilenzen. Naar onder toe bevat dit zand dikwijls glaukoniet en is het moeilijk te onderscheiden van het Zand van Kasterlee. Plaatselijk heeft het wit zand als gevolg van ligniet-huidjes (tot 100%) een donkerbruin tot zwart uitzicht. Een lignietlaag

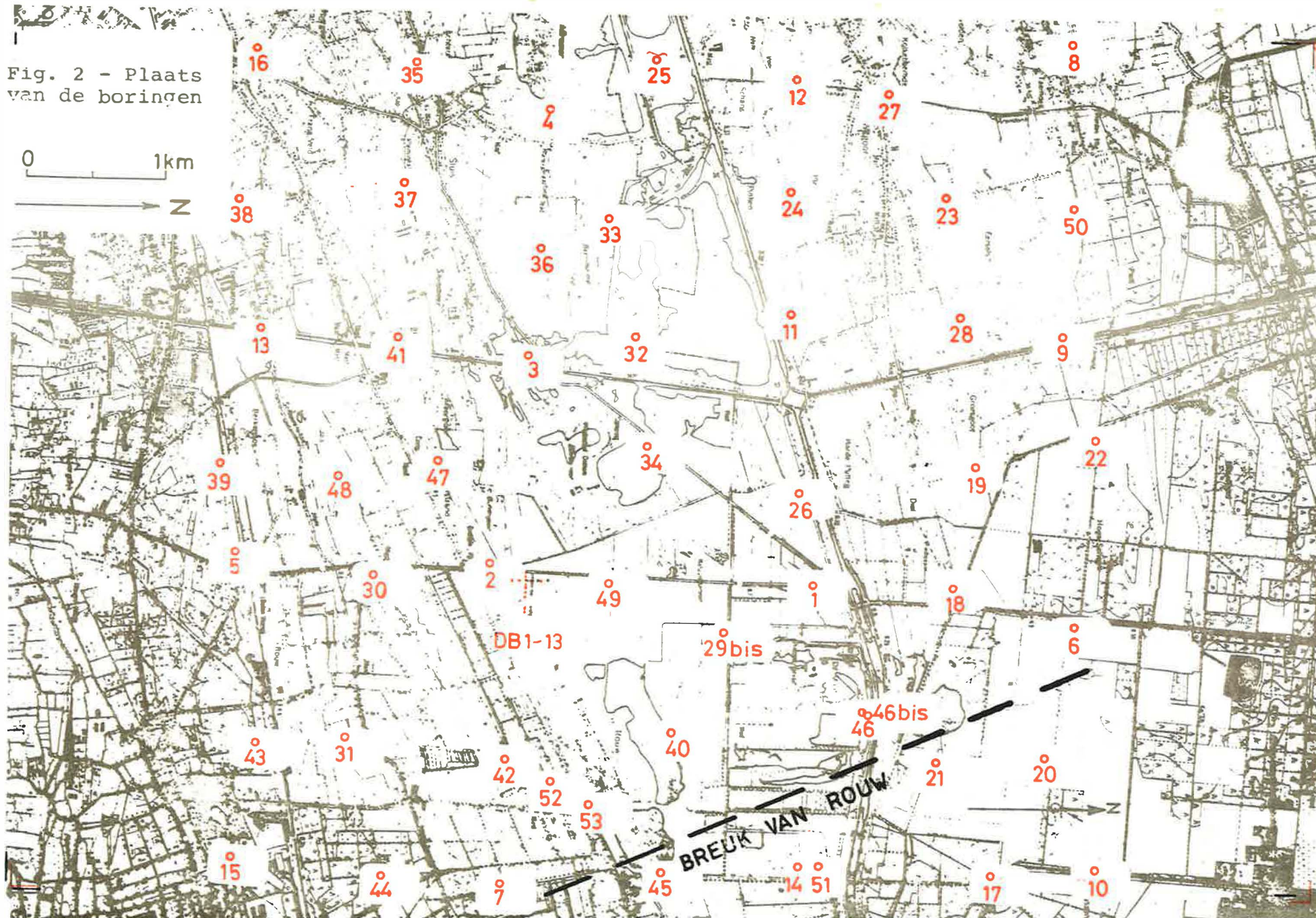
die in de omgeving van "De Maat" tot 3 meter dik is (cf. 172HB46bis) en ten oosten van de breuk van Rouw in een ligniethoudende klei overgaat, verdeelt het Zand van Mol in een onderste kompleks (MI) en een bovenste kompleks (MII). Het MII is enigszins grover dan het MI. Ten westen van de breuk van Rouw ontbreekt het MII of blijft de dikte ervan beperkt tot 4 meter (op de hoogste delen ten W van de breuk van Rouw, fig. 2). Ten Oosten van deze breuk, die in het Zand van Mol een spronghoogte van ongeveer 15 meter zou vertonen, komt er 15 tot 30 meter MII voor.

g. Jongere kwartaire afzettingen

De afzettingen op het Zand van Mol zijn gewoonlijk weinig belangrijk; hun dikte bedraagt meestal minder dan 2 meter. Ze vertonen een zeer uiteenlopend facies gaande van middelmatig grof zand tot veen en klei. De afzettingen met zandig karakter overwegen echter. De dikte ervan neemt toe in het noordwesten en zuiden. Daar overheerst licht lemig fijn tot middelmatig zand. In het noordoosten treft men grintafzettingen aan die tot de terrassen van de Maas behoren.

Fig. 2 - Plaats
van de boringen

0 1km
→ Z



4. BORINGEN

4.1. Algemeen

Voor de studie werden 58 handboringen (HB) en 13 mechanische diepe boringen (DB) geslagen. De ligging van de handboringen en van de diepe boringen is aangegeven op fig. 2. Detailplans zijn bij de beschrijvingen in de aanhangsels opgenomen.

De handboringen (aanshangsel 1) bereiken meestal een diepte van ongeveer 10 meter. De meeste gebeurden droog tot aan de grondwater-tafel (met behulp van een wang- en een pulsboor) en vervolgens met inspoeling. Enkele (HB1, HB8, HB16 en HB50) werden volkomen droog uitgevoerd. De monsternamen bij de handboringen gebeurde steeds droog. Boven de watertafel geschiedde dit met behulp van de wang- of de pulsboor, onder de watertafel met de pulsboor of de guts. Er werd steeds gebruik gemaakt van voerbuizen.

In iedere put werd één PVC-buis van 40 mm diameter aange-bracht. De filterlengte in deze hydrogeologische waarnemingsputten bedraagt 1 meter, behalve in HB42 quater waar ten behoeve van de pomp-proef een volledige filter geplaatst werd.

De diepe boringen (aanshangsel 2) geschieden met inspoeling. Hun uitvoering volgde grotendeels het bestek (aanshangsel 3); in het licht van de nieuw verkregen gegevens werd ter plaatse hiervan enigszins afgeweken. De verkenningsput DB10 werd tot een diepte van 254 meter gedreven en in het Zand van Mol werden 8 i.p.v. 7 peilputten geslagen.

Bij alle boringen (handboringen en diepe boringen) werd de litostratigrafische opeenvolging ter plaatse genoteerd.

Door waterpassing van de piëzometers (aanshangsel 4) kan men de waterstanden in absolute peilen uitdrukken.

4.2. Resultaten

Uit de profielen (fig. 3) van de diepe boringen (DB1-4, DB9-13) blijkt dat de Klei van Boom, die op -208 werd aangeboord, er bovenaan uit zeer fijnzandige klei bestaat. De resten aan de spiraal laten vermoeden dat het kleigehalte toeneemt in de diepte.

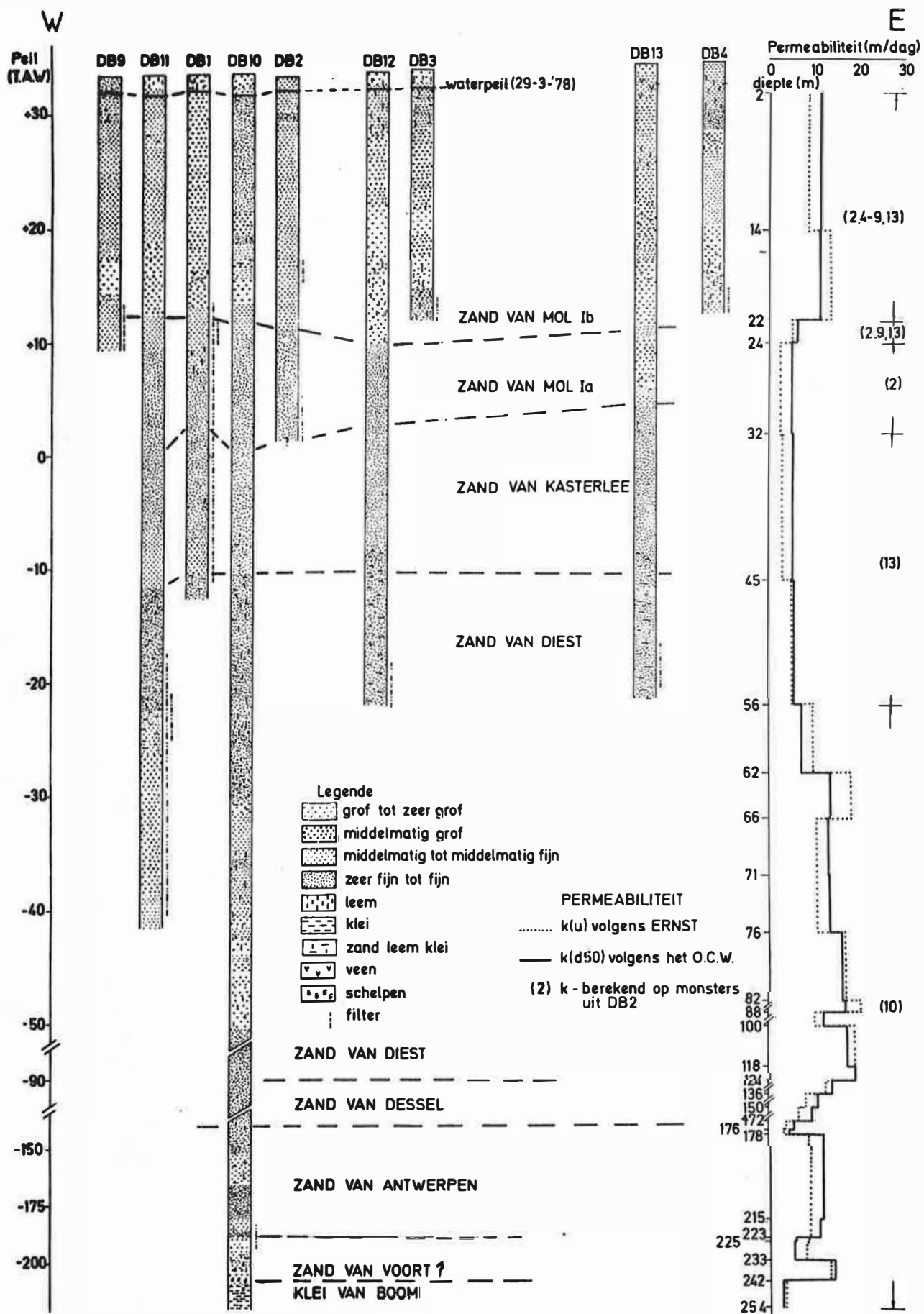


Fig. 3 - Boringsprofielen

Op de Klei van Boom rust bijna 20 meter groen tot grijsgroen glaukonietrijk heterogeen lemig zand dat waarschijnlijk overeenkomt met het Zand van Voort (-208 tot -189). Deze laag is bedekt door Zand van Antwerpen (-189 tot -140), dat bestaat uit donkergroen tot zwart sterk glaukonietrijk licht lemig middelmatig tot fijn zand. Nabij de top wordt het echter sterk lemig tot kleiig.

Het Zand van Dessel (-140 tot -90) is een groen glaukonietrijk middelmatig fijn zand; nabij de grens met het Zand van Antwerpen bevat het leem tot klei.

Het grijsgroen glaukonietrijk licht lemig Zand van Diest (-90 tot ca. -10) bestaat achtereenvolgens uit 41 meter middelmatig zand (-90 tot -49); 9 meter middelmatig grof zand (-49 tot -40), afwisselend grove, middelmatige^{en} fijne zandige lagen (-40 tot -22) en tenslotte meer lemig fijn zand (-22 tot -10).

De topzone uit het Zand van Diest vormt de overgang naar het Zand van Kasterlee (-10 tot ca. +2). Dit is een grijs glaukonieethoudend fijn zand dat, op wat kleiige brokjes en wat fijn grint na, onmerkbaar overgaat in een grijs fijn zand, dat circa 10 meter dik is (Zand van Mol, MIa). Het grovere facies van het Zand van Mol (MIb) is hier ongeveer 20 meter dik en heeft een bruine tot witte kleur.

Met de handboringen ten oosten van de breuk van Rouw werd het MI niet bereikt. Hier steken de piëzometers in de vermoedelijk 20 meter dikke grofzandige sedimenten van het bovenste complex van het Zand van Mol (MII). In het noordwesten van het studiegebied werden tot bijna 10 meter "noordelijke dekzanden" (N.D.) en in het zuiden 4 tot 8 meter "zuidelijke dekzanden" (Z.D.) aangeboord.

5. SEDIMENTOLOGISCH ONDERZOEK

5.1. Algemeen

Van 66 monsters werd de granulometrie, de hoeveelheid kalk en de hoeveelheid organisch materiaal (O.C.) bepaald.

Van het luchtdroge monster wordt de fraktie groter dan 2 mm afgescheiden en het procentueel gehalte van deze fraktie berekend.

De eigenlijke korrelgrootteverdeling gebeurt op 100 g luchtdroge grond die gedurende 10 minuten geschud wordt op een stel genormaliseerde Tyler-zeven gerangschikt volgens afnemende orde. Bij de granulometrische analyse worden kalk en organisch materiaal niet verwijderd. Hun aanwezigheid beïnvloedt immers het gedrag van het sediment ten opzichte van water en bijgevolg de berekening van de permeabiliteit uit de granulometrie.

De kleileemfraktie ($<50\mu\text{m}$) werd wegens het zeer laag gehalte niet bepaald.

Bij een spoelboring met gesloten waterkring komen bij het doorboren van een leemlaag lange tijd nadien nog leemhoudende monsters boven. Daardoor is het werkelijke gehalte aan leem moeilijk te bepalen. De meting van het kalkgehalte gebeurt met een calcimeter op 5,0 g fijn verpulverd materiaal. De hoeveelheid organisch materiaal wordt bepaald volgens de methode van WALKLEY & BLACK. Na oxidatie van het organisch materiaal met $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in zuur milieu titreert men de overmaat oxidans met FeSO_4 .

5.2. Resultaten

De resultaten van de granulometrische analyses werden grafisch uitgezet met op de rekenkundige ordinaat de som van de gewichtspersenten en op de logaritmische abscis de maasopening in mm. Voor iedere litostratigrafische eenheid werden aldus kumulatieve kurven opgesteld (aanhangel 5). Uit de korrelgroottemetingen werd de aktieve korreldiameter (d_{10}), de gemiddelde korreldiameter (d_{50}), de korreldiameter d_{90} , de specifieke oppervlakte (U) en de gelijkvormigheidsgraad (G) bepaald. Verder werden de permeabiliteit volgens het Opzoekingscentrum voor Wegenbouw (O.C.W.), volgens ERNST en volgens HAZEN evenals de bergingskoefficiënt nabij de watertafel of effectieve porositeit berekend.

De aktieve korreldiameter d_{10} wordt gedefinieerd als de korreldiameter beneden dewelke het fijner materiaal 10% bedraagt.

De korreldiameter d_{50} is de diameter die overstemt met 50% op de kumulatieve kurve.

De korreldiameter d_{90} wordt aangegeven door 90% op de kumulatieve kurve.

De specifieke oppervlakte U wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de totale oppervlakte van de deeltjes en de oppervlakte van eenzelfde gewicht aan bolletjes van hetzelfde materiaal met een diameter van 1 cm.

De gelijkvormigheidsgraad G , de verhouding tussen d_{10} en d_{60} , is een maat voor de sortering van het sediment.

De permeabiliteit k (cm/sec) volgens het O.C.W. wordt gegeven door :

$$k = 25 d_{50}^2$$

waarin : d_{50} = de gemiddelde korreldiameter in cm

De permeabiliteit (m/dag) volgens ERNST wordt gegeven door :

$$k = 54.000 U^{-2} . A . B . C$$

waarin A = de korrektiefaktor voor de sortering van het zand

B = de korrektiefaktor voor de aanwezigheid van korrels $< 16 \mu m$

C = de korrektiefaktor voor de aanwezigheid van grint

De permeabiliteit (cm/sec) volgens HAZEN wordt berekend als volgt :

$$k = C . d_{10}^2 (0,7 + 0,03t)$$

waarbij t = temperatuur in $^{\circ}C$

d_{10} = de aktieve korreldiameter in cm

C = een konstante in $cm^{-1} . sec^{-1}$

Als breedste limieten voor C worden de waarden 41 en 146 gevonden. Als temperatuur neemt men meestal 10°C , dit is ongeveer de temperatuur van het grondwater in het studiegebied. Aan de konstante C werd de waarde 55 toegekend. Men dient er echter rekening mee te houden dat men bij de berekening van de permeabiliteit volgens HAZEN het gehalte van de klei-leemfractie moet meten. De invoering van deze fractie zou tot lagere permeabiliteiten leiden wat in vergelijking met de beide andere berekende permeabiliteiten op een hogere waarde voor C zou wijzen.

De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel wordt afgeleid aan de hand van de grafiek van ECKIS (fig. 4). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de korreldiameter d_{90} .

Tabel 1 bevat het percentage grint, het percentage kalk, d_{10} , d_{50} , U , k_1 (HAZEN), k_2 (O.C.W.) en k_3 (ERNST) voor alle onderzochte monsters.

Tabel 2 bevat d_{90} en de afgeleide bergingscoëfficiënt of effectieve porositeit (S_0) nabij de watertafel voor de monsters uit de handboringen evenals de gemiddelde waarden voor iedere groep.

5.3. Bespreking

In tabel 1 wordt onderscheid gemaakt tussen de monsters 1 tot 21 afkomstig van de handboringen (droge monsters) en de monsters 22 tot 66 afkomstig van de diepe boringen (spoelmonsters). Verder worden de monsters naargelang van hun herkomst ingedeeld in de noordelijke dekzanden (N.D.), de zuidelijke dekzanden (Z.D.), het bovenste complex van het Zand van Mol (MII), het grof (MIb) en het fijn (MIa) facies van het onderste complex van het Zand van Mol, het Zand van Kasterlee (K), het Zand van Diest (D), het Zand van Dessel (De), het Zand van Antwerpen (A), het Zand van Voort (V) en de Klei van Boom (B).

In tabel 1 komen horizontale en verticale sedimentologische veranderingen duidelijk tot uiting. Op grond van de gegevens van tabel 1 werden de sedimenten in groepen ingedeeld.

De geologisch verschillende groepen met hun maximum, en minimum voor de voornaamste parameters zijn weergegeven in tabel 3.

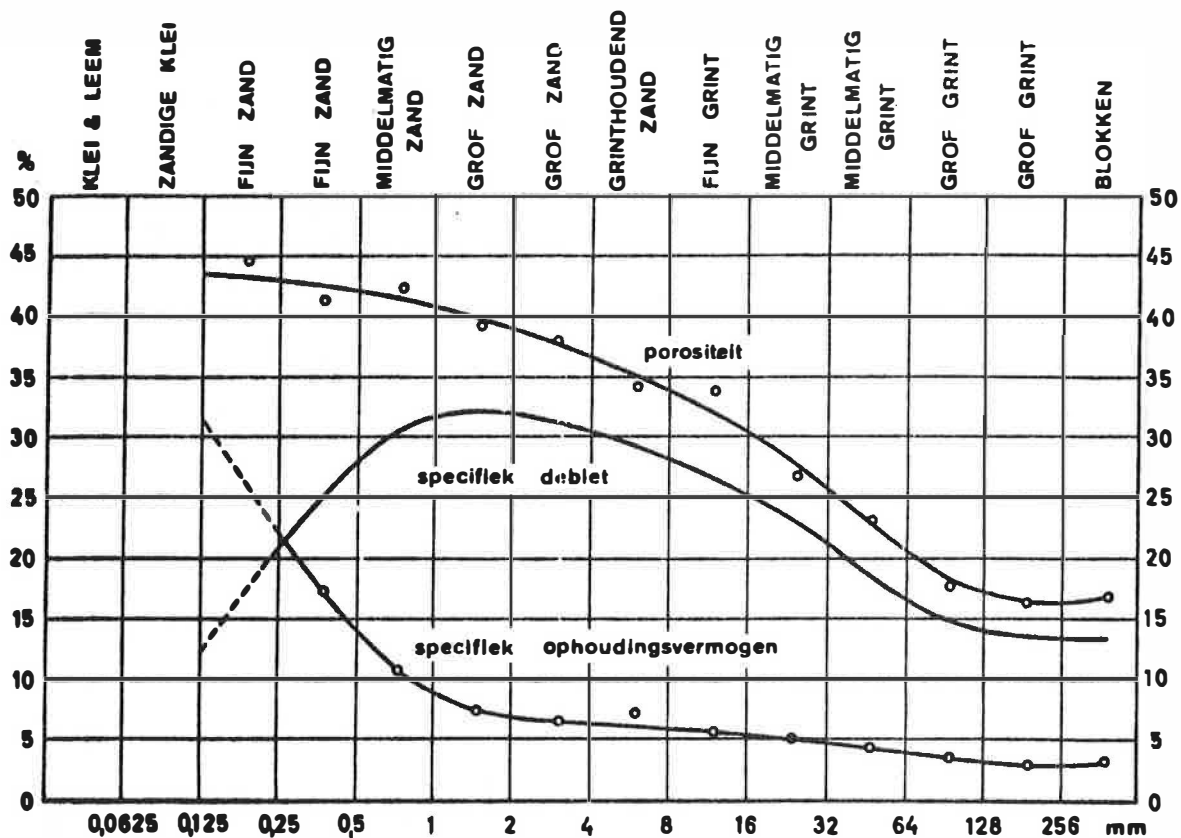


Fig. 4 - Porositeit, specifiek debiet en specifiek ophoudingsvermogen voor sedimenten uit het zuidelijke kustbekken van Californië (naar ECKIS, ROLLIN, 1954). Op de abscis wordt de 10% korrelgrootte in mm van de gekumuleerde kurve, die met de grootste fraktie aanvaagt, aangegeven.

Tabel 1 - De waarde van de voornaamste parameters uit het sedimentologisch onderzoek voor ieder monster

Nr	Boring	Monster	Her- komst	Diepte m	Grint %	CaCO ₃ %	G	d ₁₀ µm	d ₅₀ µm	U	k ₁ m/dag	k ₂ m/dag	k ₃ m/dag
1	HB6	2-4	ND	0,5-3	0,21	0,00	0,54	117	191	54,86	6,48	7,88	10,34
2	HB8	1-3bis	ND	0,5-5	0,07	0,00	0,36	57	145	86,91	1,57	4,50	3,51
3	HB8	4-8	ND	5-9,5	0,05	0,00	0,54	92	163	61,52	4,06	5,68	3,65
4	HB50	2-7	ND	1,5-8	0,35	0,00	0,52	83	148	68,52	3,29	4,68	4,43
5	HB5	1-4	ZD	0,5-3,5	0,06	0,30	0,48	90	167	60,02	3,81	6,02	5,89
6	HB15	2-6	ZD	0,5-3,5	0,01	0,00	0,46	83	164	63,84	3,31	5,78	5,77
7	HB16	1-7	ZD	0,5-8	0,04	0,00	0,45	75	155	65,01	2,70	5,16	4,39
8	HB6	5-6	MII	3-9	0,00	0,08	0,68	221	304	33,47	23,26	19,81	17,27
9	HB10	1-4	MII	0,5-3	4,01	0,00	0,67	187	266	40,04	16,59	15,32	11,34
10	HB10	5	MII	4,5-5,5	0,00	0,13	0,72	194	259	39,59	17,80	14,39	8,59
11	HB10	6	MII	6,5-7	0,00	0,00	0,76	217	275	36,54	22,34	16,31	11,42
12	HB14	8-14	MII	2-10	0,00	0,00	0,73	202	264	38,92	19,33	15,12	9,71
13	HB3	5-8	Mib	2-6	0,03	0,17	0,69	189	261	39,85	17,06	14,75	11,49
14	HB4	2-7	Mib	0,5-9	0,32	0,00	0,62	202	297	33,38	19,38	19,13	22,87
15	HB5	5-7	Mib	4,5-10	0,00	0,00	0,82	125	147	66,75	7,46	4,62	2,48
16	HB7	4-5	Mib	2-5	0,00	0,09	0,64	129	189	54,91	7,85	7,75	6,11
17	HB7	6-8	Mib	5-9	0,16	0,00	0,69	155	210	47,41	11,39	9,50	9,12
18	HB12	2-4	Mib	2,5-9,5	0,00	0,00	0,67	191	270	36,75	17,36	15,81	18,46
19	HB15	8-9	Mib	4-8	0,77	0,00	0,73	127	164	57,79	7,70	5,78	8,23
20	HB16	8	Mib	8-9	0,00	0,00	0,79	109	134	74,24	5,63	3,88	1,59
21	HB50	8	Mib	8	0,00	0,00	0,70	126	171	58,97	7,49	6,28	4,40
22	DB2	8	Mib	7-8	0,00	0,00	0,64	164	240	43,19	12,81	12,50	10,09
23	DB2	12	Mib	11-12	0,00	0,00	0,66	158	222	45,73	11,89	10,73	8,60
31	DB2	16	Mib	15-16	0,05	0,00	0,64	152	221	45,52	10,93	10,56	11,16
32	DB2	20	Mib	19-20	0,17	0,00	0,63	133	193	48,91	8,41	8,07	12,49
24	DB4	6-12	Mib	5-12	0,40	0,42	0,68	164	227	45,05	12,76	11,16	9,50
33	DB4	18-20	Mib	17-20	0,31	0,17	0,57	136	212	45,51	8,76	9,73	10,59
25	DB5	6-12	Mib	5-12	0,00	0,25	0,66	157	225	46,34	11,76	11,03	8,92
34	DB5	18-20	Mib	17-20	0,18	0,17	0,55	146	240	42,70	10,11	12,38	15,47
26	DB6	6-12	Mib	5-12	0,12	0,30	0,68	163	227	45,91	12,68	11,15	8,56
35	DB6	18-20	Mib	17-20	1,43	0,30	0,53	147	252	39,97	10,26	13,64	20,19
27	DB7	6-12	Mib	5-12	0,00	0,25	0,66	156	225	45,57	11,60	10,94	7,05

Nr	Boring	Monster	Her- komst	Diepte m	Grint %	CaCO ₃ %	G	d ₁₀ µm	d ₅₀ µm	U	k ₁ m/dag	k ₂ m/dag	k ₃ m/dag
36	DB7	18-20	Mib	17-20	0,00	0,30	0,49	134	240	42,56	8,48	12,43	14,68
28	DB8	6-12	Mib	5-12	0,00	0,30	0,69	178	245	42,55	15,08	12,93	9,67
37	DB8	18-20	Mib	17-20	0,10	0,25	0,53	139	232	43,28	9,15	11,53	14,75
29	DB9	6-14	Mib	5-14	0,05	0,21	0,70	177	241	42,85	14,93	12,54	9,00
38	DB9	15-22	Mib	14-22	0,35	0,17	0,56	140	224	45,09	9,32	10,74	12,34
30	DB13	6-12	Mib	5-12	0,00	0,00	0,64	150	222	47,40	10,66	10,63	9,29
39	DB13	18-20	Mib	17-20	0,13	0,04	0,61	146	222	44,56	10,07	10,64	10,32
40	DB2	24	Mia	23-24	0,12	0,00	0,75	128	163	59,01	7,81	5,74	4,67
41	DB2	28	Mia	27-28	0,13	0,00	0,79	127	155	63,90	7,71	5,19	2,92
42	DB2	32	Mia	31-32	0,00	0,00	0,80	127	152	65,63	7,62	4,96	2,68
43	DB9	23-24	Mia	22-24	1,15	0,08	0,75	128	163	57,95	7,77	5,71	4,35
44	DB13	24-25	Mia	23-25	0,48	0,04	0,70	137	184	52,39	8,89	7,31	6,54
45	DB13	33-43	K	32-43	0,00	0,00	0,78	129	160	62,37	7,90	5,53	3,15
46	DB13	47-55	D	46-55	2,35	0,08	0,56	96	162	57,07	4,35	5,65	5,17
47	DB10	58-62	D	57-62	1,18	0,13	0,47	108	184	56,74	5,51	7,36	10,04
48	DB10	63-66	D	62-66	1,14	0,08	0,39	110	253	50,60	5,71	13,82	18,36
49	DB10	67-71	D	66-71	0,03	0,04	0,35	95	248	53,50	4,25	13,35	10,62
50	DB10	72-76	D	71-76	0,07	0,13	0,38	103	252	52,75	5,08	13,62	10,74
51	DB10	77-82	D	76-82	0,08	0,08	0,50	145	274	38,44	10,05	16,13	17,00
52	DB10	83-88	D	82-88	0,19	0,13	0,60	180	277	36,62	15,45	16,73	20,72
53	DB10	89-100	D	88-100	0,00	0,25	0,63	157	233	43,79	11,76	11,75	9,99
54	DB10	101-118	D	100-118	0,00	0,17	0,54	164	283	37,32	12,77	17,26	18,81
55	DB10	119-124	D	118-124	0,03	0,25	0,63	203	295	34,53	19,53	18,92	18,91
56	DB10	125-136	De	124-136	0,00	0,21	0,67	179	252	40,50	15,16	13,77	12,28
57	DB10	137-150	De	136-150	0,00	0,25	0,68	157	221	46,20	11,67	10,52	8,26
58	DB10	151-172	De	150-172	0,00	0,17	0,66	145	212	49,30	10,01	9,68	6,53
59	DB10	173-176	De - A	172-176	0,00	0,25	0,75	126	160	61,76	7,53	5,59	3,93
60	DB10	177-178	A	176-178	0,00	0,42	0,73	114	147	65,76	6,22	4,64	3,47
61	DB10	179-215	A	178-215	0,00	0,30	0,53	134	235	44,97	8,49	11,97	9,17
62	DB10	216-223	A	215-223	0,00	0,27	0,52	126	225	46,36	7,58	11,00	9,08
63	DB10	224-225	V	223-225	0,00	0,17	0,60	108	162	56,76	5,57	5,64	8,65
64	DB10	226-233	V	225-233	0,00	0,30	0,51	105	157	58,13	5,27	5,33	8,03
65	DB10	234-242	V	233-242	0,00	0,43	0,30	93	257	50,54	4,10	14,30	13,51
66	DB10	243-254	B	242-254	0,00	0,30	0,61	75	117	77,16	2,67	2,98	3,33

Tabel 2 - De bergingskoëfficiënt nabij de watertafel (S_0) afgeleid uit d_{90} voor de monsters uit de handboringen evenals het gemiddelde voor iedere groep

Nr.	Boring	Herkomst	Diepte (m)	d_{90} (μm)	S_0 (%)
1	HB6	ND	0,5 - 3	343	24
2	HB8	ND	0,5 - 5	250	21
3	HB8	ND	5 - 9,5	240	21
4	HB50	ND	1,5 - 8	245	21
5	HB5	ZD	0,5 - 3,5	288	22
6	HB15	ZD	0,5 - 3,5	274	22
7	HB16	ZD	0,5 - 8	274	22
8	HB6	MII	3 - 9	416	26
9	HB10	MII	0,5 - 3	343	24
10	HB10	MII	4,5 - 5,5	325	23
11	HB10	MII	6,5 - 7	355	24
12	HB14	MII	2 - 10	335	24
13	HB3	MIb	2 - 6	248	21
14	HB4	MIb	0,5 - 9	530	28
15	HB5	MIb	4,5 - 10	192	18
16	HB7	MIb	2 - 5	260	21
17	HB7	MIb	5 - 9	290	22
18	HB12	MIb	2,5 - 9,5	477	27
19	HB15	MIb	4 - 8	293	22
20	HB16	MIb	8 - 9	155	15
21	HB20	MIb	8	233	21
		ND		270	22
		NZ		280	22
		MII		355	24
		MIb		298	22

Tabel 3 - De maximum- en minimumwaarde van de voornaamste parameters uit het sedimentologisch onderzoek voor de verschillende groepen

Groep	Herkomst	Diepte	G max	G min	d ₁₀ max	d ₁₀ min	d ₅₀ max	d ₅₀ min	U max	U min	k ₂ max	k ₂ min	k ₃ max	k ₃ min
1	ND & ZD (HB)	-	0,54	0,36	117	57	191	145	87	55	7,9	4,5	10,3	3,5
2	MII (HB)	-	0,76	0,67	221	187	304	259	40	33	19,8	14,4	17,3	8,6
3	Mib (HB)	-	0,82	0,62	202	109	297	147	74	33	19,1	3,9	22,9	1,6
	Mib (DB)	6-14	0,70	0,64	178	150	245	222	47	43	12,9	10,6	10,1	7,0
	Mib (DB)	14-22	0,64	0,49	152	133	252	193	49	40	13,6	8,1	20,2	10,3
4	Mia & K (DB)	22-45	0,80	0,70	137	127	184	152	66	52	7,3	5,0	6,5	2,7
5	D (DB)	45-76	0,56	0,35	110	95	253	162	57	51	13,8	5,7	18,4	5,2
	D (DB)	77-124	0,63	0,50	203	145	295	233	44	35	18,9	11,7	20,7	10,0
6	De (DB)	124-172	0,68	0,66	179	145	252	212	49	40	13,8	9,7	12,3	6,5
7	De-A (DE)	172-178	0,75	0,73	126	114	160	147	66	62	5,6	4,6	3,9	3,5
8	A (DE)	178-223	0,53	0,52	134	126	235	225	46	45	12,0	11,0	9,2	9,1
9	V (DE)	223-233	0,60	0,51	108	105	162	157	58	57	5,6	5,3	8,7	8,0
	V (DE)	233-242	0,30		93		257		51		14,3		13,5	
10	B (DE)	242-254	0,61		75		117		77		3,0		3,3	

Uit deze tabel blijkt ondermeer dat de spreiding in de resultaten bij de droog genomen monsters veel groter is dan bij de spoelmonsters waar we immers een gemiddeld monster van fijnere en grovere lagen of lenzen bekomen. De noordelijke en zuidelijke dekzanden behoren duidelijk tot één groep van weinig gesorteerde middelmatig fijne zanden. Het MII is goed gesorteerd en bevat de grofste zanden. Het enigszins fijner MIb is bovenaan goed gesorteerd maar onderaan beduidend minder.

Het MIa en Zand van Kasterlee vormen een groep van fijne sedimenten met zeer goede sortering.

Het Zand van Diest bevat bovenaan middelmatige sedimenten met zwakke tot slechte sortering. Onderaan is het materiaal grover en beter gesorteerd. Het Zand van Dessel bevat middelmatige sedimenten met goede sortering. De overgangszone naar het Zand van Antwerpen bevat fijne sedimenten met een zeer goede sortering. De rest van het Zand van Antwerpen bevat grovere sedimenten met zwakke sortering. Het Zand van Voort is bovenaan fijn zwak gesorteerd en onderaan grof slecht gesorteerd met veel fijne bijmenging. De Klei van Boom, het fijnste van de onderzochte sedimenten, is gekenmerkt door een middelmatige sortering.

5.4. Besluit

Uit het sedimentologisch onderzoek blijkt dat het freatisch reservoir bestaande uit Zand van Mol, Zand van Kasterlee, Zand van Diest en Zand van Dessel, duidelijk gelaagd is. Het is begrepen tussen de peilen +34 en -140. De top van het Zand van Antwerpen vormt een half-doorlatende scheidingslaag tussen het freatisch reservoir en de semi-artesische laag in het Zand van Antwerpen en het Zand van Voort. Uit de ontzandingspomp in DB10 bleek dat het Zand van Antwerpen slechts zeer weinig water levert (ca. 1 m³/uur).

In de pompput DB1 bevindt de filter (Ø 210) zich slechts enkele meters in de grofzandige afzettingen van het MIb en ongeveer 20 meter in de fijnzandige afzettingen van het MIa en van het Zand van Kasterlee. De gemiddelde permeabiliteit ter hoogte van deze filter bedraagt ongeveer 5 m/dag. In de pompput DB11 bevindt de filter (Ø 210) zich in grovere afzettingen (Zand van Diest) met een gemiddelde permeabiliteit van meer dan 10 m/dag.

Het verloop van de permeabiliteitswaarden (k_2 en k_3), aangegeven naast de boringsprofielen (fig. 3), toont dit zeer duidelijk aan.

Uit de berekende permeabiliteit (k_2 en k_3) voor de verschillende monsters en de dikte van iedere laag (tabel 4) leidt men een transmissiviteit voor het freatisch reservoir af. Volgens k_2 (O.C.W.) bedraagt de transmissiviteit ca. 1950 m²/dag. Dit komt overeen met een gemiddelde permeabiliteit van ca. 11,3 m/dag. Volgens k_3 (ERNST) bedraagt de transmissiviteit ca. 1800 m²/dag. Dit komt overeen met een gemiddelde permeabiliteit van ca. 10,5 m/dag.

De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel (S_0) afgeleid uit d_{90} (tabel 2) heeft voor de noordelijke dekzanden, de zuidelijke dekzanden en het Zand van Mol Ib een gemiddelde waarde van ca. 22%. Voor het Zand van Mol II bedraagt deze ca. 24%.

Tabel 4 - De berekening van de transmissiviteiten uit de permeabiliteiten

Diepte (m) van ~ tot	Permeabiliteit		Transmissiviteit	
	ERNST (k_3)	OCW (k_2)	ERNST (k_3)	OCW (k_2)
2 - 14	8,92	11,50	107,00	137,99
14 - 22	13,77	11,30	110,17	90,41
22 - 24	5,19	6,25	10,37	12,51
24 - 32	2,80	5,08	22,40	40,60
32 - 45	3,15	5,53	40,95	71,89
45 - 56	5,17	5,65	56,87	62,15
56 - 62	10,04	7,36	60,24	44,16
62 - 66	18,36	13,82	73,44	55,28
66 - 71	10,62	13,35	53,10	66,75
71 - 76	10,74	13,62	53,70	68,10
76 - 82	17,00	16,13	102,00	96,78
82 - 88	20,72	16,73	124,32	100,38
88 - 100	9,99	11,75	119,86	141,00
100 - 118	18,91	17,26	338,58	310,68
118 - 124	18,91	18,92	113,46	113,52
124 - 136	12,28	13,77	147,36	165,24
136 - 150	8,26	10,52	115,64	147,28
150 - 172	6,53	9,68	143,66	212,96
172 - 174	3,93	5,59	7,86	11,18
			1801	1949

6. WATERPASSING

Door het Geologisch Instituut werd een gesloten waterpassing van de handboringen uitgevoerd (aanhangsel 4). Deze geschiedde ten opzichte van de vaste punten BH101 (+ 25,499), Hb72 (+ 39,755), Qh17 (+ 35,297) en Hb68 (+ 34,269) van de "Tweede Algemene Waterpassing" (Verzameling der Bepalingen en Hoogten der Merktekens, nieuwe reeks, aflevering nr. 4c Antwerpen. Arrondissement Turnhout, 1968).

De waterpassing gebeurde steeds op de top van de peilbuis, referentiepunt voor de peilmetingen. De resultaten van deze waterpassing werden opgenomen in tabel 5. Een controlewaterpassing op een deel van deze putten leidde tot vergelijkbare resultaten. De PIDPA voerde bovendien een gesloten waterpassing op de diepe boringen uit met aansluiting op het waterpassingsnet van de handboringen. Bij deze waterpassing (tabel 6) werden niet alleen de top van de metalen buizen gemeten (peil A), maar ook de top van de PVC-peilbuizen met grootste diameter (peil B) en van het maaiveld (peil C).

Tabel 5 - Resultaten van de waterpassing van de handboringen

HB	Peil	HB	Peil	HB	Peil
1	+33,295	19	+30,736	37	+28,151
2	+32,113	20	+38,035	38	+27,064
3	+28,720	21	+36,572	39	+32,420
4	+24,900	22	+29,452	40	+37,346
5	+32,346	23	+27,427	41	+28,906
6	+34,483	24	+26,554	42	+36,252
7	+37,658	25	+23,759	43	+36,917
8	+26,982	26	+30,746	44	+36,493
9	+30,435	27	+26,614	45	+40,073
10	+40,978	28	+29,338	46	+34,470
11	+28,406	29bis	+34,425	46bis	+35,294
12	+25,555	30	+32,711	47	+30,532
13	+28,675	31	+33,500	48	+32,556
14	+42,460	32	+28,154	49	+32,770
15	+38,343	33	+25,996	50	+28,065
16	+28,295	34	+30,660	51	+41,738
17	+40,773	35	+27,318	52	+36,280
18	+33,594	36	+26,508	53	+37,709

Tabel 6 - Waterpassing van de diepe boringen

Put	Peil A	Peil D	Peil C
DB1	34,598	33,903	33,638
DE2	34,572	33,479	33,352
DE3	34,977	34,761	33,975
DB4	35,668	35,453	34,668
DB5	34,633	34,473	33,633
DE6	34,708	34,503	33,702
DE7	34,924	34,705	33,921
DE8	34,442	34,198	33,433
DB9	34,365	34,240	33,415
DB10	34,562	34,422	33,647
DE11	34,430	33,748	33,553
DE12	34,815	34,613	33,819
DL13	35,529	35,471	34,510

7. HYDROCHEMISCH ONDERZOEK

Er werden 15 wateranalyses (aangangsel 6) uitgevoerd waarvan 6 door de PIDPA en 9 door het Geologisch Instituut (R.U.G.).

De eerste reeks (R.U.G.), verricht, in april 1977 op monsters van de piëzometers 172HB1 tot 172HB6, leidden tot een algemeen inzicht over de aard van het water in het Zand van Mol. In april 1978 werden waters geanalyseerd (R.U.G. & PIDPA) uit de plas van Rouw en uit de pompputten 172DB1 (Zand van Mol en Zand van Kasterlee) en 172DB11 (Zand van Diest).

Op het terrein bepaalt men de kleur, de troebelheid, de smaak, de reuk, de temperatuur van het water en van de lucht, de buffercapaciteit en het gehalte aan agressief CO_2 . De buffercapaciteit wordt titrimetrisch gemeten t.o.v. fenolftaleïne (alkalische titer, TA) en t.o.v. een mengindicator (totale alkalische titer, TAC). De alkaliniteit heeft betrekking op een deel van de aardalkaliekarbonaten, de totale alkaliniteit op het geheel van de karbonaten en bikarbonaten.

Alle andere bepalingen gebeuren in het laboratorium : de verdampingsrest, de verassingsrest, het gehalte aan bezinkbare stoffen, zwevende stoffen en organische stoffen, het gehalte aan SiO_2 , de totale, blijvende en tijdelijke hardheid ($^{\circ}\text{F}$).

De ionenbalans wordt opgesteld met de kationen Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Mn^{++} , Fe (Fe^{++} , Fe^{+++}) en NH_4^+ en de anionen Cl^- , SO_4^{--} , NO_3^- , NO_2^- , HCO_3^- , CO_3^{--} en PO_4^{--} . Verder meet men de zuurtegraad, de resistiviteit en de geleidbaarheid (herleid naar 18°C), drukt men de alkaliteit uit als $\text{Na}^+ / \frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}$ (= SAR, sodium adsorption ratio) en berekent men de

de verhouding van Mg^{++} tot Ca^{++} en van SO_4^{--} tot Cl^- . Bij de analyses voldoet de ionenbalans aan de voorwaarde :

$$\frac{\sum \text{kationen} - \sum \text{anionen}}{\sum \text{kationen} + \sum \text{anionen}} \times 100 < 5$$

De relatieve verdeling van de belangrijkste kationen (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ en K^+) en de belangrijkste anionen (HCO_3^- , CO_3^{--} , SO_4^{--} en Cl^-) wordt voorgesteld in een Piper-diagram bestaande uit een ruitdiagram en twee driehoeksdiagrammen (fig. 5). In het linker driehoeksdiagram geeft men de kationen (in $\text{m\ddot{e}}/\text{l}$) Ca^{++} , Mg^{++} en $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ percentsgewijze aan

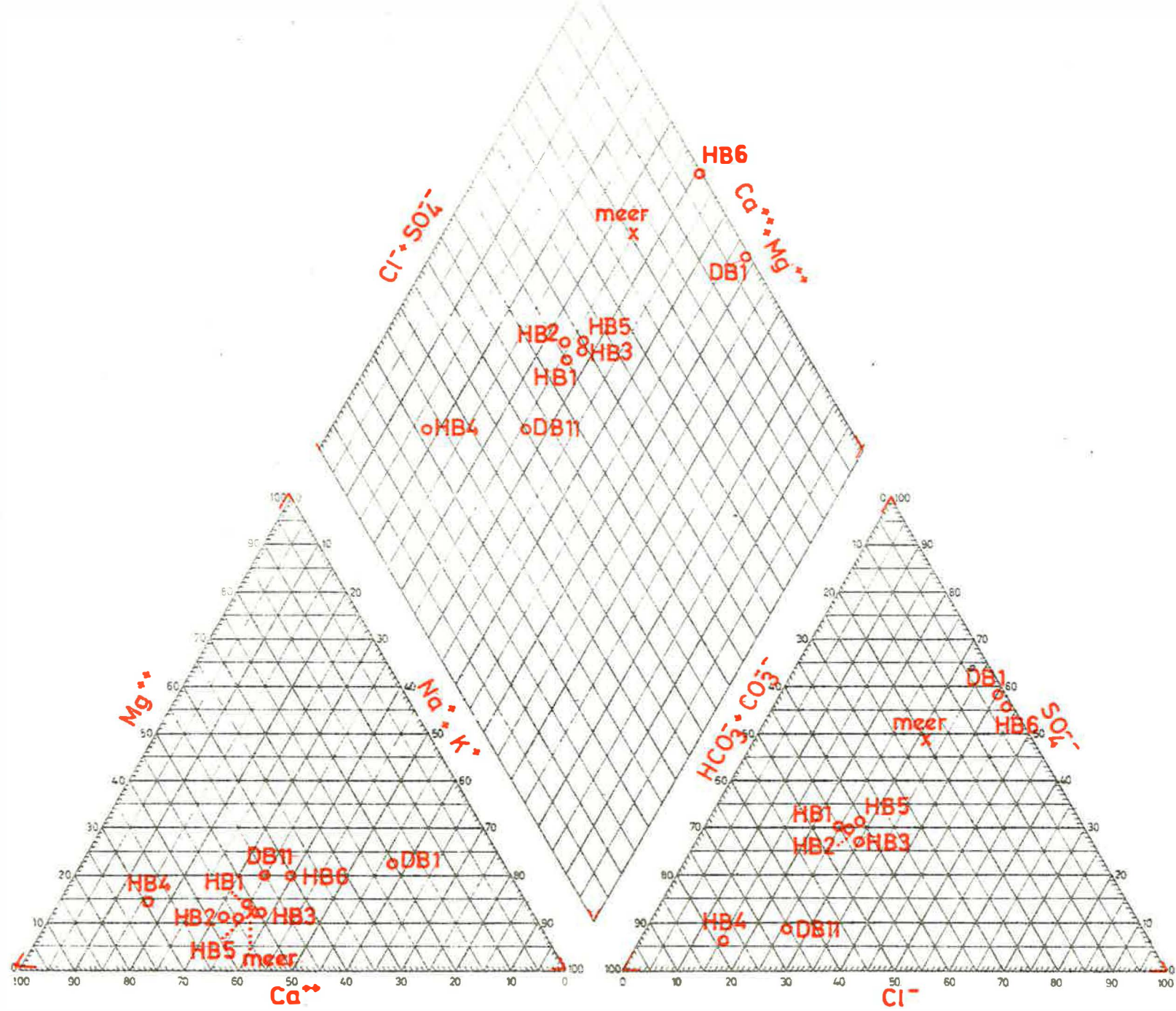


Fig. 5 - Piper-diagram van de wateranalyses

Tabel 7 - Voornaamste resultaten uit de wateranalyses

	pH	Tot.H. F°	B.H. F°	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Fe mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l
HB1	6,4	21,2	9,9	49,3	6,1	68,8	9,9	0,1	59,5	89,5	179,3
HB2	5,7	12,2	11,8	23,7	4,5	41,3	4,5	2,0	36,8	54,3	103,7
HB3	6,2	16,7	8,6	42,7	5,0	54,5	7,5	1,7	59,1	69,2	143,4
HB4	6,4	4,4	2,8	3,0	2,6	16,2	2,1	7,3	8,6	4,3	72,0
HB5	6,1	19,7	11,8	49,3	4,9	65,6	8,1	0,2	59,1	95,1	152,5
HB6	4,0	10,4	3,0	21,7	16,6	26,7	7,8	1,7	51,1	88,1	6,1
<u>DB1</u>											
30/3		4,8	4,0			9,6	5,8	18,0	46,8		
31/3		4,4	3,9			7,2	6,3	18,3	45,0		
2/4	5,1	4,2	*	19,2	5,0	6,9	4,5	16,9	36,3	70,2	3,7
7/4		4,0	3,5			8,0	4,9	16,4	38,6		
<u>DF11</u>											
20/4	6,4	4,1	3,5	8,4	2,4	10,9	2,9	15,8	19,6	14,4	79,9
26/4		4,2	0,0			9,6	2,4	30,5	22,8		
<u>vijver</u>											
31/3		11,0	5,7			34,4	5,8	2,5	49,6		
2/4	7,6	10,5	*	24,1	4,0	33,1	4,2	2,1	36,8	76,6	37,0
7/4		11,6	4,8			38,4	4,9	2,9	54,0		

* niet bepaald

t.o.v. hun som, in het rechterdriehoeksdiagram de anionen SO_4^{--} , Cl^- en $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$. De overeenstemmende punten van beide driehoeksdiagrammen worden als één enkel punt geprojecteerd in het ruitdiagram. In het ruitdiagram worden aldus enerzijds komplementair de kationen ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) en ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en anderzijds komplementair de anionen ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}$) en ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--}$) afgebeeld.

De analyses van de PIDPA waren minder uitgebreid en dienden vooral voor de controle van de kwaliteitsveranderingen tijdens de pompproef.

De belangrijkste resultaten uit de wateranalyses zijn uitgezet in tabel 7.

Uit de analyses op de monsters uit putten in het Zand van Mol blijkt dat de bovenste waterlaag er naargelang van de ligging van de put, duidelijke verschillen vertoont. Zo verschilt het water uit HB4 (nabij de open put van Miramar) veel van de andere waters in het Zand van Mol. Het water lijkt ook te veranderen met de diepte. De verandering met de diepte aangegeven door de gemiddelde waarden uit de wateranalyses voor iedere groep monsters is aangegeven in tabel 8.

Tabel 8 - Verandering van de kwaliteit van het water met de diepte

	HB 1-6	DB1	DB11
Diepte (m)	8,3 - 9,3	20 - 43,7	51 - 74
Tot. H (F°)	14,1	4,3	4,1
Blijv. H. (F°)	8,0	3,8	1,7
Na (mg/l)	31,6	19,2	8,4
K (mg/l)	8,3	5,0	2,4
Ca (mg/l)	45,5	7,9	10,2
Mg (mg/l)	6,7	5,4	2,6
Fe (mg/l)	2,2	17,4	23,2
Cl (mg/l)	45,7	41,8	21,2
SO_4 (mg/l)	61,8	70,2	14,4
HCO_3 (mg/l)	109,5	3,7	79,9
pH	5,8	4,7	6,3

Met de diepte nemen de hardheid, het gehalte aan Na, K, Mg en Cl af en neemt het gehalte aan Fe toe.

Het gehalte aan Ca en aan HCO_3 neemt sterk af van de bovenste zone (ca. 10 m) naar de intermediaire zone (20-44 m), om dieper (51-74) terug toe te nemen. Het gehalte aan SO_4 is ongeveer gelijk in de bovenste twee zones maar is duidelijk lager in de diepste zone.

De waters vallen vooral op door hun lage hardheid, en het hoog gehalte aan Fe en NH_4 .

Uit de ligging van de onderzochte monsters op een Piper-diagram (fig. 5) blijkt dat het water uit het Zand van Diest niet opmerkelijk verschilt van de waters nabij het oppervlak. Dit zou men kunnen verklaren door menging tijdens de pumping. Daar de monsters uit de putten DB1 en DB11 weinig verschillen mag men aannemen dat op grond van de kwaliteit men met één enkel reservoir te doen heeft.

8. POMPPROEVEN

8.1. Algemeen

Er werden drie pompproeven verricht : één op een ondiepe met de hand geboorde put en twee op diepe putten.

Aan de put HB42quater, waarvan de filter een lengte van 10 meter had, werd gedurende een beperkte tijd een klein debiet onttrokken. De resultaten van deze pompproef waren oriënterend voor de inplanting van de boringen voor beide andere pompproeven.

Bij de eerste pompproef met groot debiet werd water onttrokken aan de put DB1F1 met een filter in het Zand van Mol en het Zand van Kasterlee. Hierbij werd gedurende 12926 minuten gepompt met een debiet van $1750 \text{ m}^3/\text{dag}$. De stijging werd gedurende 14400 minuten gemeten.

De tweede pompproef geschiedde op put DB11F1, in het Zand van Diest. Gedurende 12926 minuten werd een debiet van 1680 m^3 per dag opgepompt. Daarna werd een stijging van 12000 minuten waargenomen. De peilveranderingen met de tijd samen met de debieten zijn in aanhangsel 7 opgenomen.

8.2. Pompproef op HB42quater

In HB42quater werd een filter van 10 meter lengte aangebracht. Deze bevindt zich in het Zand van Mol (MIb). Gedurende 120 minuten werd er gepompt met een debiet van 90 m^3 per dag. De stijging werd gemeten gedurende 125 minuten. Aan de hand van de residuele daling (fig. 6) werd een transmissiviteit van $915 \text{ m}^2/\text{dag}$ berekend. Deze waarde, die eerder naar de lage kant ligt, is te verklaren door het feit dat er zich op 10 m diepte een kleiige laag bevindt.

8.3. Aard en dikte van de waterlagen

Uit de boringsprofielen, de sedimentologische resultaten en de wateranalysen blijkt dat er geen duidelijke scheiding bestaat tussen de waterlaag in het Zand van Mol en het Zand van Kasterlee enerzijds en de waterlaag in het Zand van Diest en het Zand van Dessel anderzijds. Onderaan evenwel wordt dit reservoir begrensd door de half-doorlatende laag aan de top van het Zand van Antwerpen.

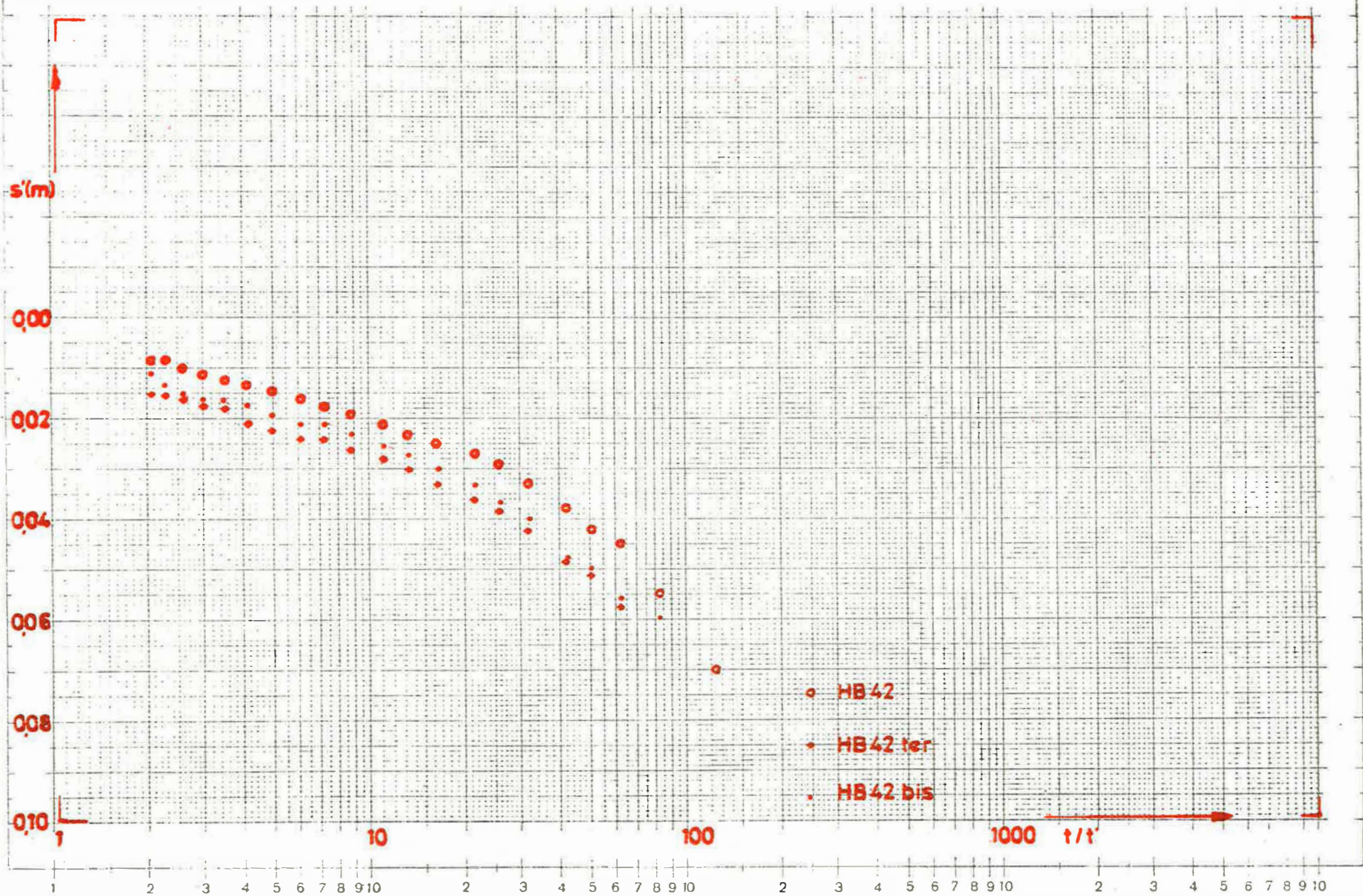


Fig. 6 - Pompproef in HB42quater, residuele daling

Het bestaan van één enkel freatisch reservoir tussen de peilen +34 en -140 wordt bevestigd door de pompproeven. Dit blijkt ondermeer uit de niet-verbeterde afstand-daling kurven (Jacob II) : bij pompproef 1 stelt men vast dat na 12926 minuten pompen de dalingen in de piëzometers in het Zand van Mol (DB2, DB3 en DB4) en in het Zand van Diest (DB12 en DB13) gelijkaardig verlopen (fig. 7).

8.4. Pompproeven met groot debiet

8.4.1. Korrekties van de waarnemingen

Bij de stijging werd voor de dikte van de freatische laag een korrektiefaktor $s^2/2D$ ingevoerd, waarbij $D = 172$ m. Deze waarde is gesteund op de dikte van de doorlatende afzettingen, de diepte van het waterpeil en een zeer kleine voeding vanuit het Zand van Antwerpen.

Bij daling dient men, zowel bij pompproef 1 (op DB1) als bij pompproef 2 (op DB11), rekening te houden met een onvolledige filter. Men neemt aan dat een correctie van de daling nodig is wanneer de afstand (r) van de piëzometer tot de pompput kleiner is dan 2 keer de dikte (D) van de watervoerende laag. Binnen deze zone wordt de daling door verticale stromingskomponenten beïnvloed. Bijgevolg kan men voor deze piëzometers niet de gewone correctie voor een freatische laag invoeren.

Meestal neemt men aan dat de verticale stroomkomponenten zich slechts duidelijk laten gelden in de zone met straal $r < D$. Binnen deze zone vervangt men de waargenomen daling s door $s - s^2/2d$, waarin d de lengte van de filter.

Dit geldt echter enkel voor de pompput zelf. Deze correctie dient naarmate de piëzometer van de pompput verwijderd is, te worden aangepast.

Voor de berekening van die correctie van de daling in de verschillende filters werd op dubbellogaritmisch papier de afstand tot de pompput uitgezet tegenover de aangepaste filterlengte d' (fig. 8). Hierbij werd aangenomen dat in de piëzometer naast de pompput ($r = 0,13$ m) de aangepaste filterlengte 24 meter bedraagt (filterlengte 23,7). Een invloed werd aangenomen tot op een afstand van 344 meter ($= 2D$). Op die afstand bedraagt de aangepaste filterlengte 172 meter.

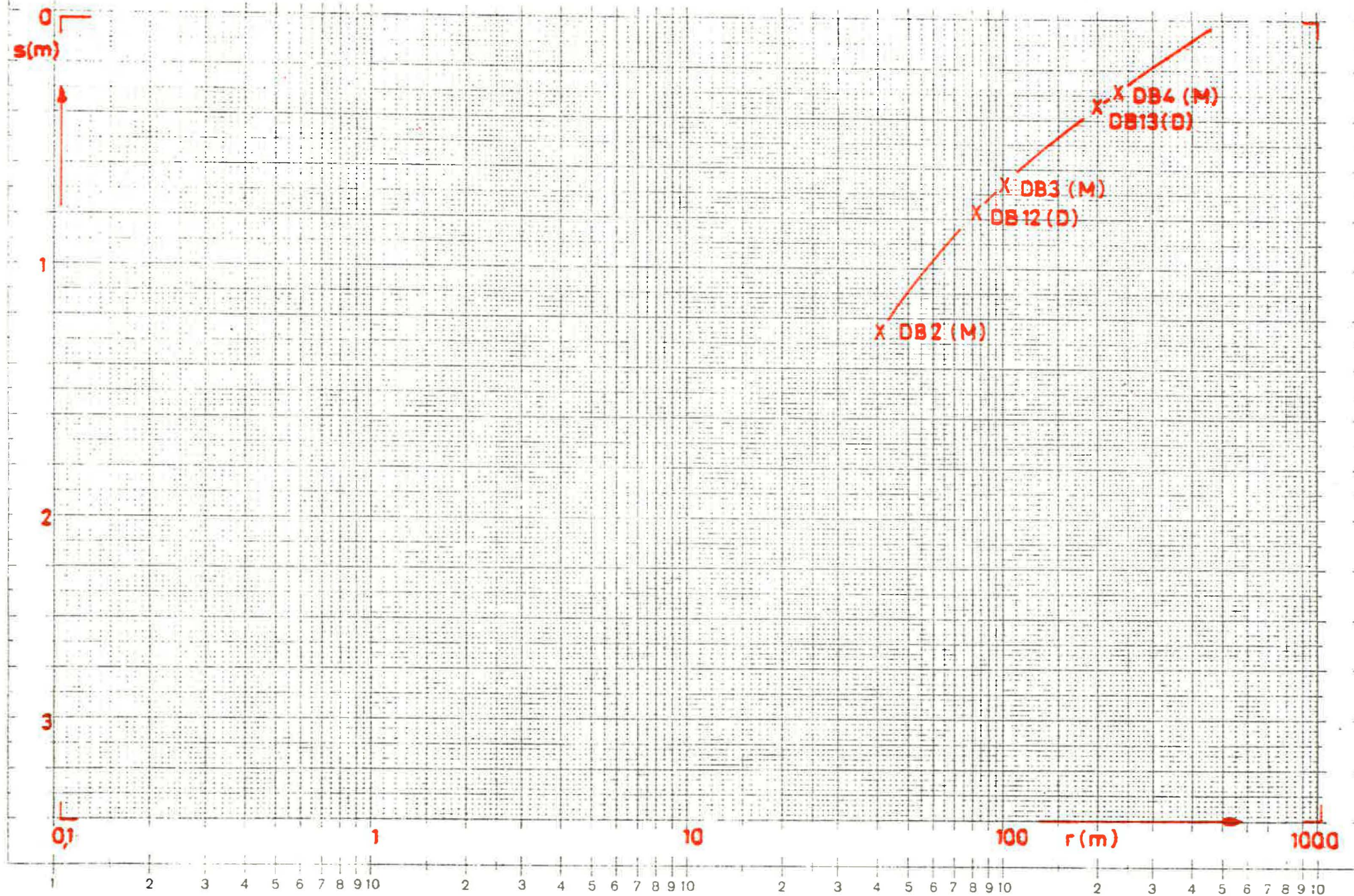


Fig. 7 - Pompproef in DB1, afstand-daling (zonder verbetering voor de onvolledige filterlengte) na 12926 minuten

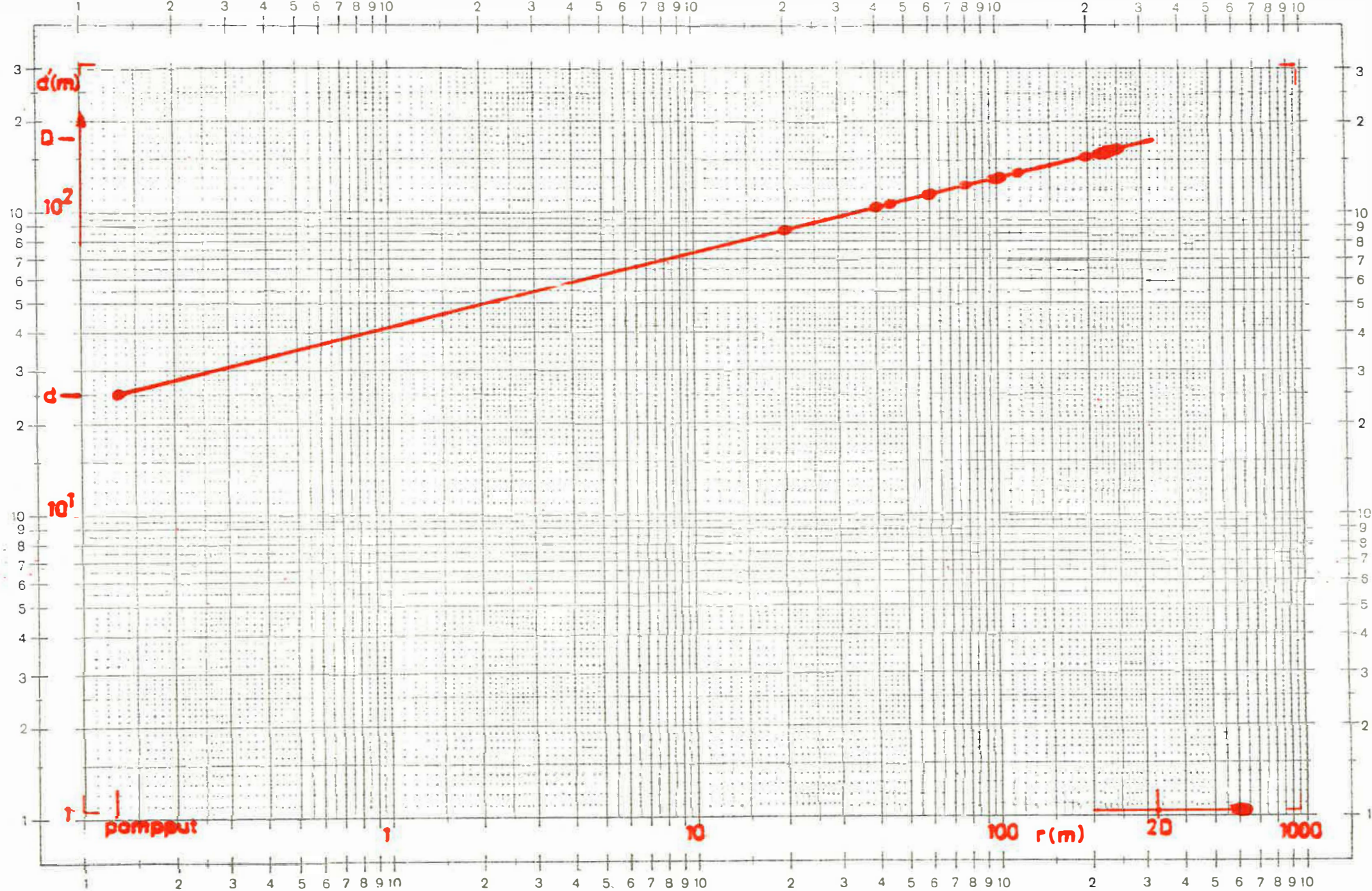


Fig. 8 - Aanpassing van filterlengte wegens onvolledige filter

8.4.2. Pompproef op DB1

De aangewende methoden en de resultaten (kD , k en S) van de pompproef op DB1 zijn aangegeven in tabel 9. Hierin is ook telkens het figuurnummer van de overeenkomende kurve opgenomen.

De gegevens van de piëzometers die niet voldeden aan de voorwaarden van de interpretatiemethode zijn in de tabel niet opgenomen.

Uit de tabel blijkt een duidelijk verschil tussen de interpretatie van de metingen in dalende en in stijgende toestand. Bij daling komt men tot een gemiddelde transmissiviteit kD van $1500 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 8,7 \text{ m/dag}$) en een gemiddelde bergingscoëfficiënt S van $1,2 \times 10^{-3}$. Bij stijging bekomt men een gemiddelde transmissiviteit kD van $2430 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 14,1 \text{ m/dag}$). Met de residuele daling kan geen bergingscoëfficiënt bepaald worden.

De transmissiviteit berekend uit de stijging moet hier als de juiste beschouwd worden omdat bij stijging de permeabiliteit van de laag ter hoogte van de filter in de pompput de metingen in de andere piëzometers niet beïnvloedt. Uit het sedimentologisch onderzoek blijkt dat de laag ter hoogte van de pompput een permeabiliteit heeft die merkbaar kleiner is dan het gemiddelde van het ganse reservoir. Bijgevolg is te verwachten dat men bij pumping een lagere transmissiviteit meet. Ook de bergingscoëfficiënt zal kleiner zijn. Het blijkt bovendien dat de bergingscoëfficiënt per piëzometer beïnvloed wordt door de aard van het sediment waarin de filter zich bevindt. Zeer lage waarden worden aangetroffen in de piëzometers DB2F1 en DB12, gemiddeld $1,5 \times 10^{-4}$. Bij deze piëzometers bevindt de filter zich in fijne sedimenten. Voor de andere piëzometers, met hun filter in grovere sedimenten, lopen de waarden op tot het tienvoudige (gemiddeld $1,7 \times 10^{-3}$). Er doet zich geen echte anisotropie voor zodat de permeabiliteiten naargelang van de richting ongeveer gelijk zijn. Uit de tijd-dalingkurve krijgt men de indruk dat zich vertraagde afgifte voordoet. Dit verschijnsel is echter te weinig belangrijk om aldus interpreteerbaar te

Tabel 9 - Resultaten van de eerste pompproef (DB1)

Toestand	Metode	Piëzometer	Richting	kD m ² /dag	k m/dag	S x 10 ⁻³	Figuur
Dalend	JACOB I	DB2F1	Oost	1497	8,7	0,1	9
Dalend	JACOB I	DB2F2	Oost	1497	8,7	1,6	9
Dalend	JACOB I	DB12	Oost	1612	9,4	0,2	9
Dalend	JACOB I	DB5	Zuid	1497	8,7	0,7	9
Dalend	JACOB I	DB7	Noord	1456	8,5	2,1	9
Dalend	JACOB I	DB9	West	1497	8,7	2,4	9
Dalend	THEIS	DB2	Oost	1466	8,5	?	10
Stijgend	Res.daling	DB1	Oost	2338	13,6	-	11
Stijgend	Res.daling	DB2F1	Oost	2338	13,6	-	11
Stijgend	Res.daling	DB2F2	Oost	2338	13,6	-	11
Stijgend	Res.daling	DB11	Oost	2563	14,9	-	11
Stijgend	Res.daling	DB5	Zuid	2464	14,3	-	12
Stijgend	Res.daling	DB7	Noord	2373	14,3	-	12
Stijgend	Res.daling	DB9	West	2502	14,5	-	12

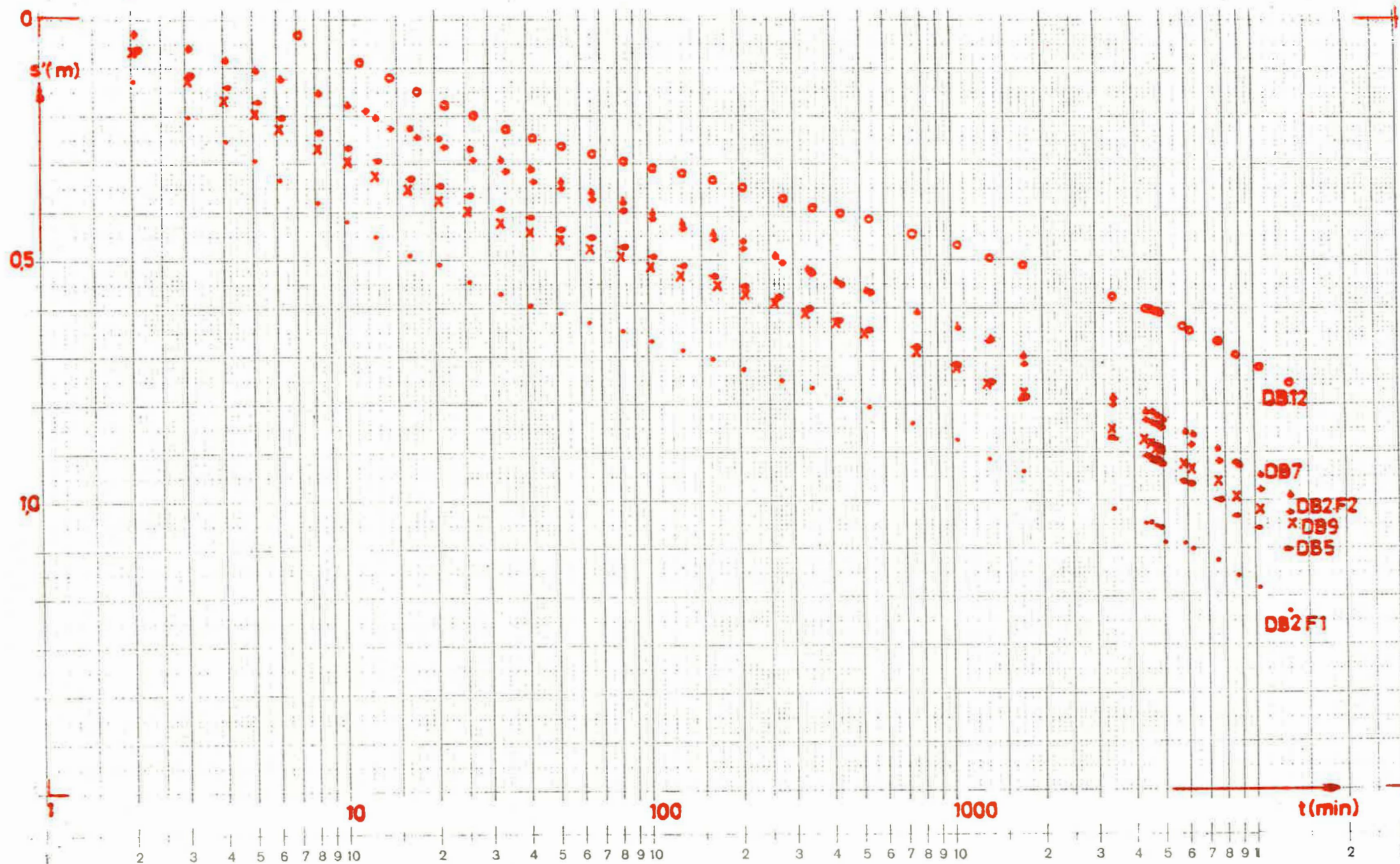


Fig. 9 - Pompproef in DB1, tijd-daling in de piëzometers DB2F1, DB2F2, DB5, DB7, DB9 en DB12

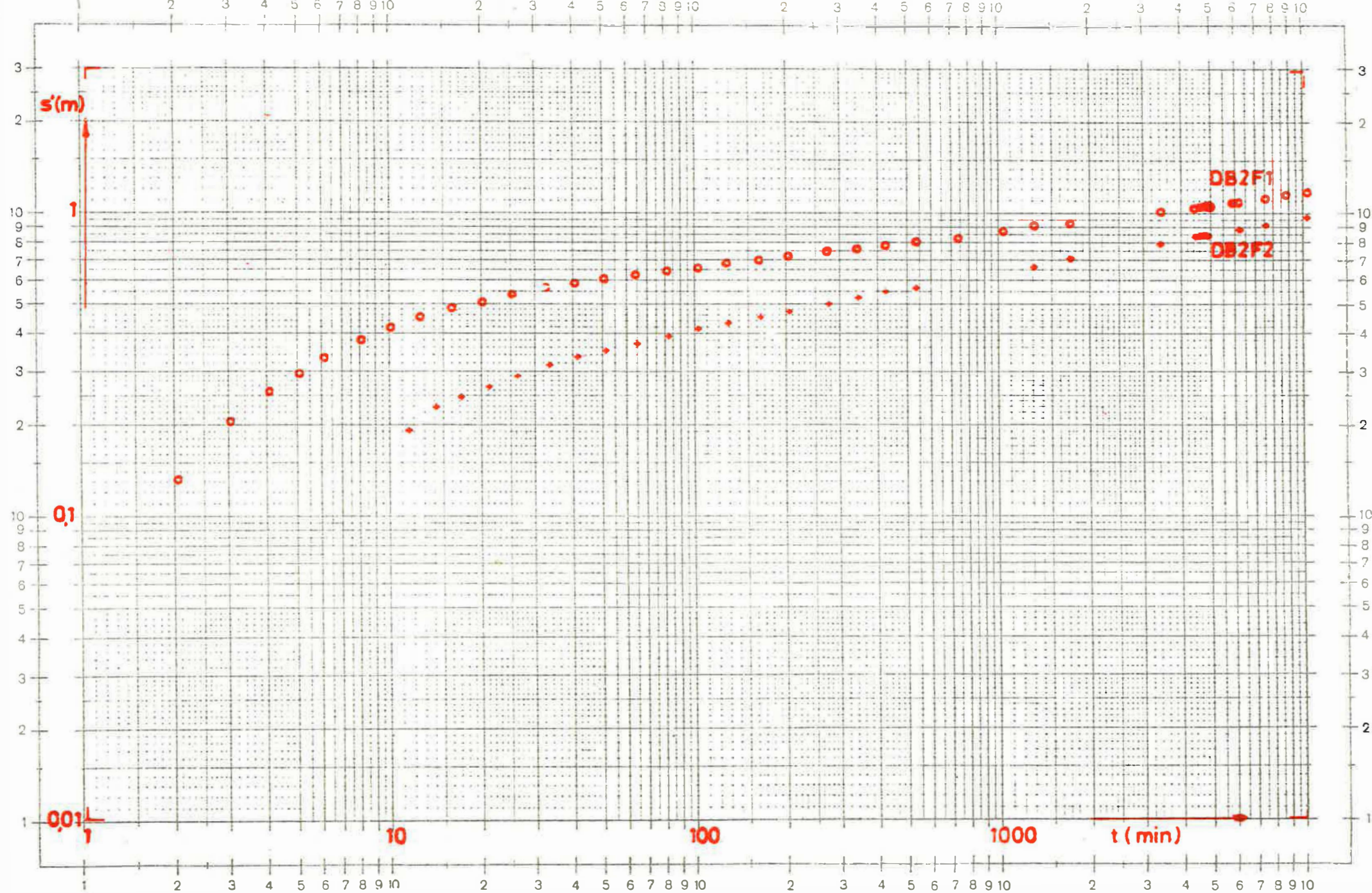


Fig. 10 - Pompproef in DB1, tijd-daling in de piëzometers DB2F1 en DB2F2

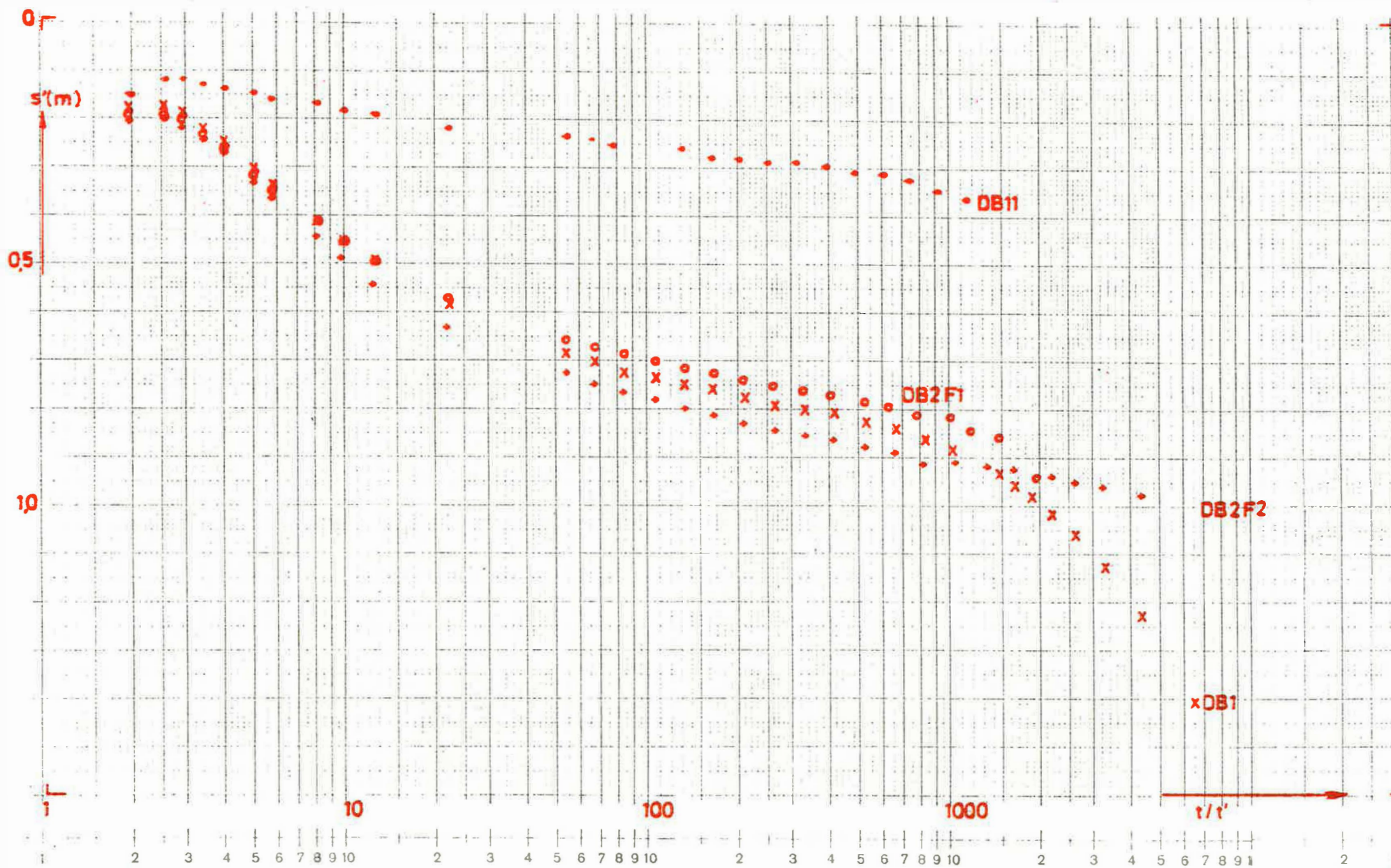


Fig. 11 - Pompproef in DB1, residuele daling in de piëzometers
DB1, DB2F1, DB2F2 en DB11

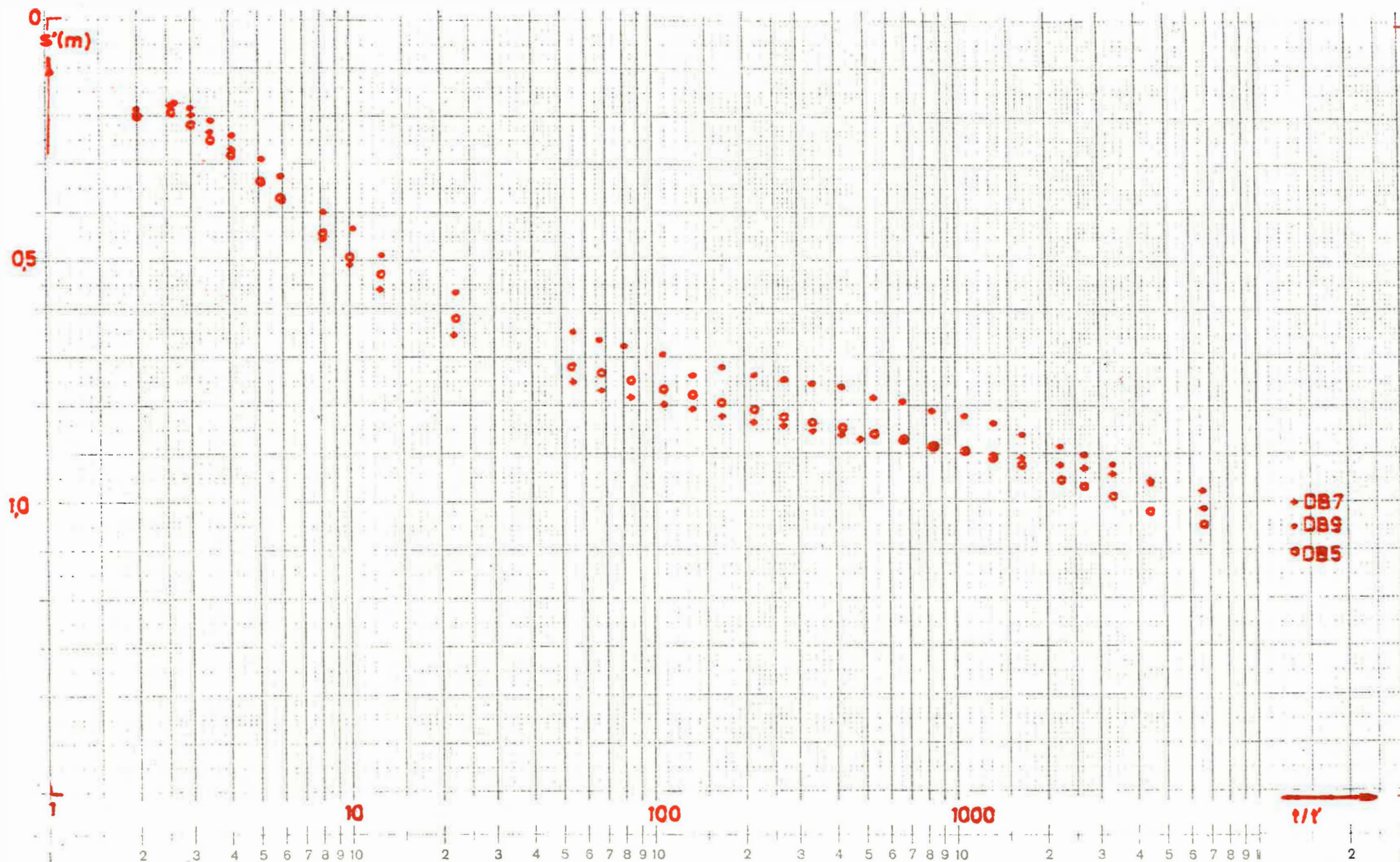


Fig. 12 - Pompproef in DB1, residuele daling in de piëzometers DB5, DB7 en DB9

zijn. De daling aan het einde van de tijd-dalingkurve is ondermeer het gevolg van de algemene daling van het peil in die periode. Uit de afstand-dalingkurve (fig. 7) na 12926 min. blijkt dat de invloedsstraal op dat ogenblik ca. 500 meter bedraagt.

8.4.3. Pompproef op DB11

De gebruikte methoden en de resultaten (kD , k en S) van de pompproef op DB11 zijn aangegeven in tabel 10. Enkel die resultaten van de piëzometers, die voldeden aan de voorwaarden gesteld door de interpretatiemethode zijn erin opgenomen. Ook hier blijkt er een duidelijk verschil tussen de interpretatie van de metingen in dalende en deze in de stijgende toestand. In dalende toestand bekomt men een gemiddelde transmissiviteit kD van $2835 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 16,5 \text{ m/dag}$) en een gemiddelde bergingscoëfficiënt S van $4,1 \times 10^{-2}$. In stijgende toestand bedraagt de transmissiviteit gemiddeld $2440 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 14,2 \text{ m/dag}$). Met de residuele daling kan geen bergingscoëfficiënt berekend worden. Zoals voor de pompproef op DB1 mag men aannemen dat het resultaat bekomen uit de stijgende toestand beter de werkelijkheid benadert.

De hogere waarden voor de transmissiviteit en de bergingscoëfficiënt bekomen uit de dalende toestand bij DB11 in vergelijking met die uit DB1 is het gevolg van de hogere permeabiliteit van het grover sediment ter hoogte van de filter bij DB11. De bergingscoëfficiënt berekend bij daling in de piëzometers DB1 en DB12 is kleiner dan degene bepaald uit de daling van de andere piëzometers. Opnieuw komt dit overeen met de filter in de fijnste sedimenten. Anisotropie is niet opgemerkt. Na ongeveer zes dagen pompen vervlakt het einde van de tijd-dalingkurve. Op dat tijdstip bereikt de invloedsstraal ongeveer 700 meter.

Tabel 10 - Resultaten van de tweede pompproef (DB11)

Toestand	Metode	Piëzometer	Richting	kD m ² /dag	k m/dag	S x 10 ⁻²	Figuur
Dalend	JACOB I	DB12	Oost	2620	15,2	1,5	13
Dalend	JACOB I	DB1	Oost	3157	18,4	0,2	13
Dalend	JACOB I	DB2F2	Oost	2620	15,2	4,1	13
Dalend	JACOB I	DB5	Zuid	2790	16,2	4,5	14
Dalend	JACOB I	DB7	Noord	2931	17,0	8,8	14
Dalend	JACOB I	DB9	West	2931	17,0	4,6	14
Dalend	JACOB II	DB11,12,13	Oost	2278	13,2	4,4	15
Dalend	THEIS	DB2	Oost	3342	19,4	?	16
Stijgend	Res.daling	DB11	Oost	2196	12,8	-	17
Stijgend	Res.daling	DB12	Oost	2795	16,3	-	18
Stijgend	Res.daling	DB1	Oost	2402	14,0	-	18
Stijgend	Res.daling	DB2F1	Oost	2402	14,0	-	19
Stijgend	Res.daling	DB5	Zuid	2311	13,4	-	20
Stijgend	Res.daling	DB7	Noord	2402	14,0	-	20
Stijgend	Res.daling	DB9	West	2562	14,9	-	21

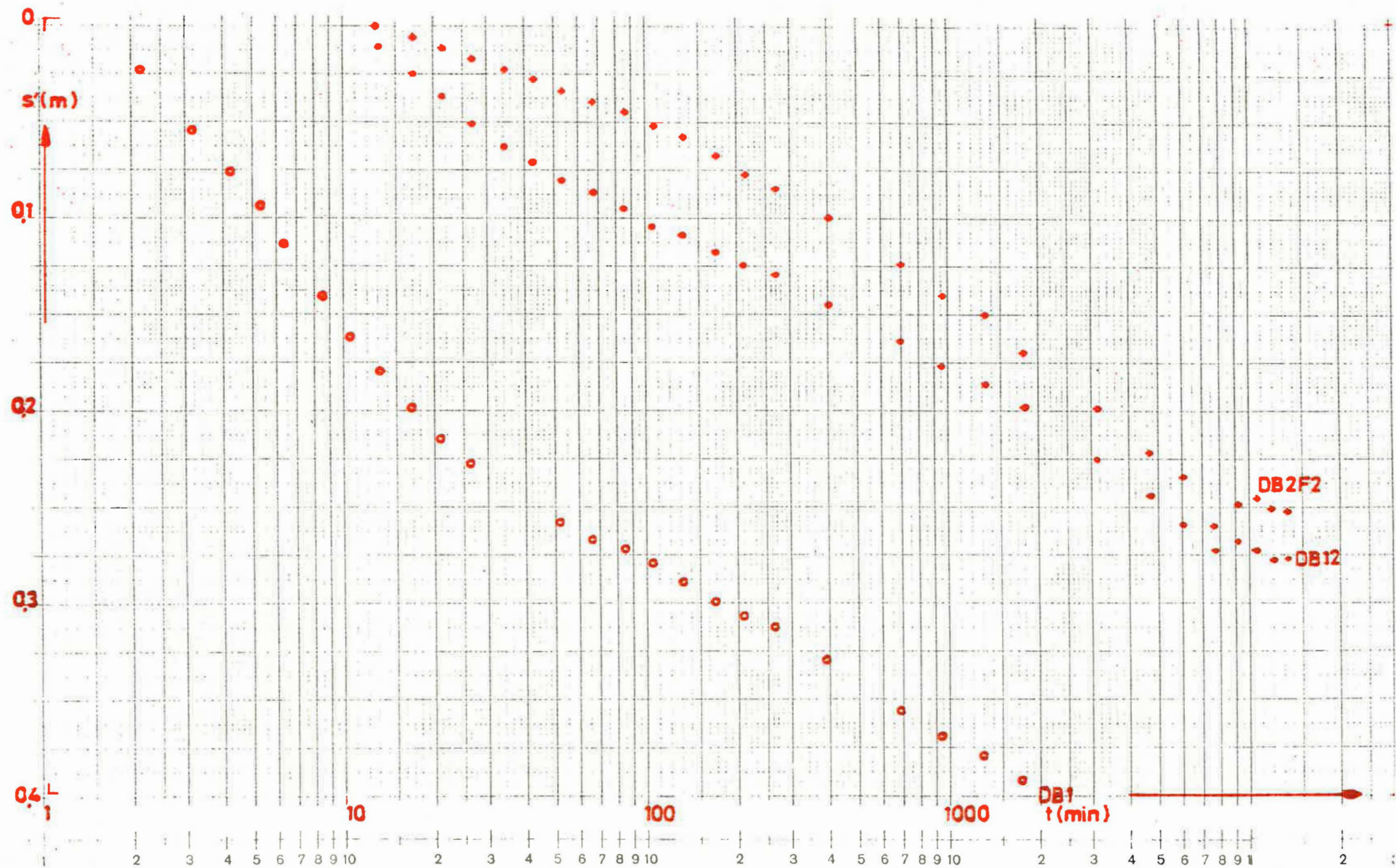


Fig. 13 - Pompproef in DB11, tijd-daling in de piëzometers DB1, DB2F2 en DB12

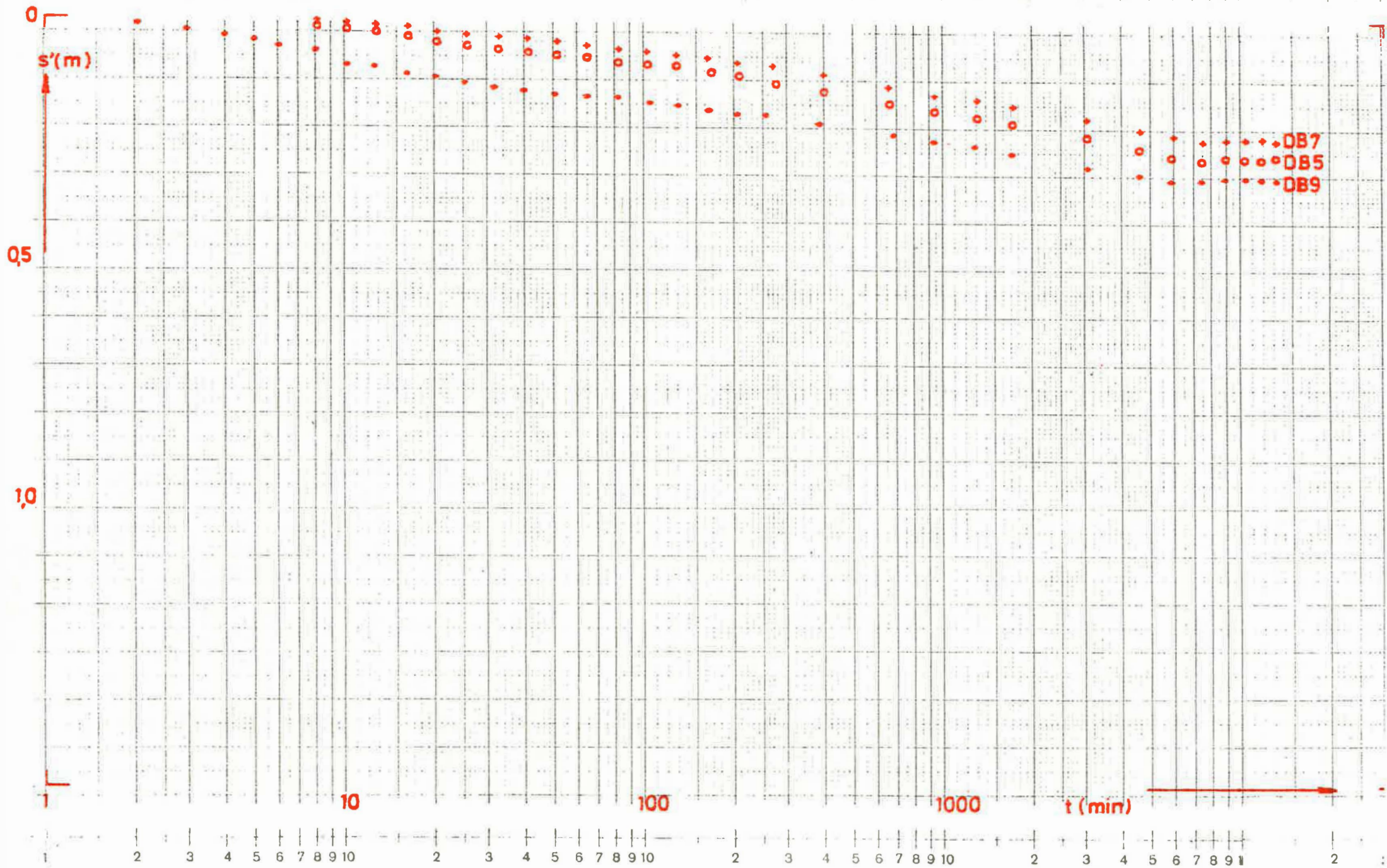


Fig. 14 - Pompproef in DB11, tijd-daling in de piëzometers DB5, DB7 en DB9

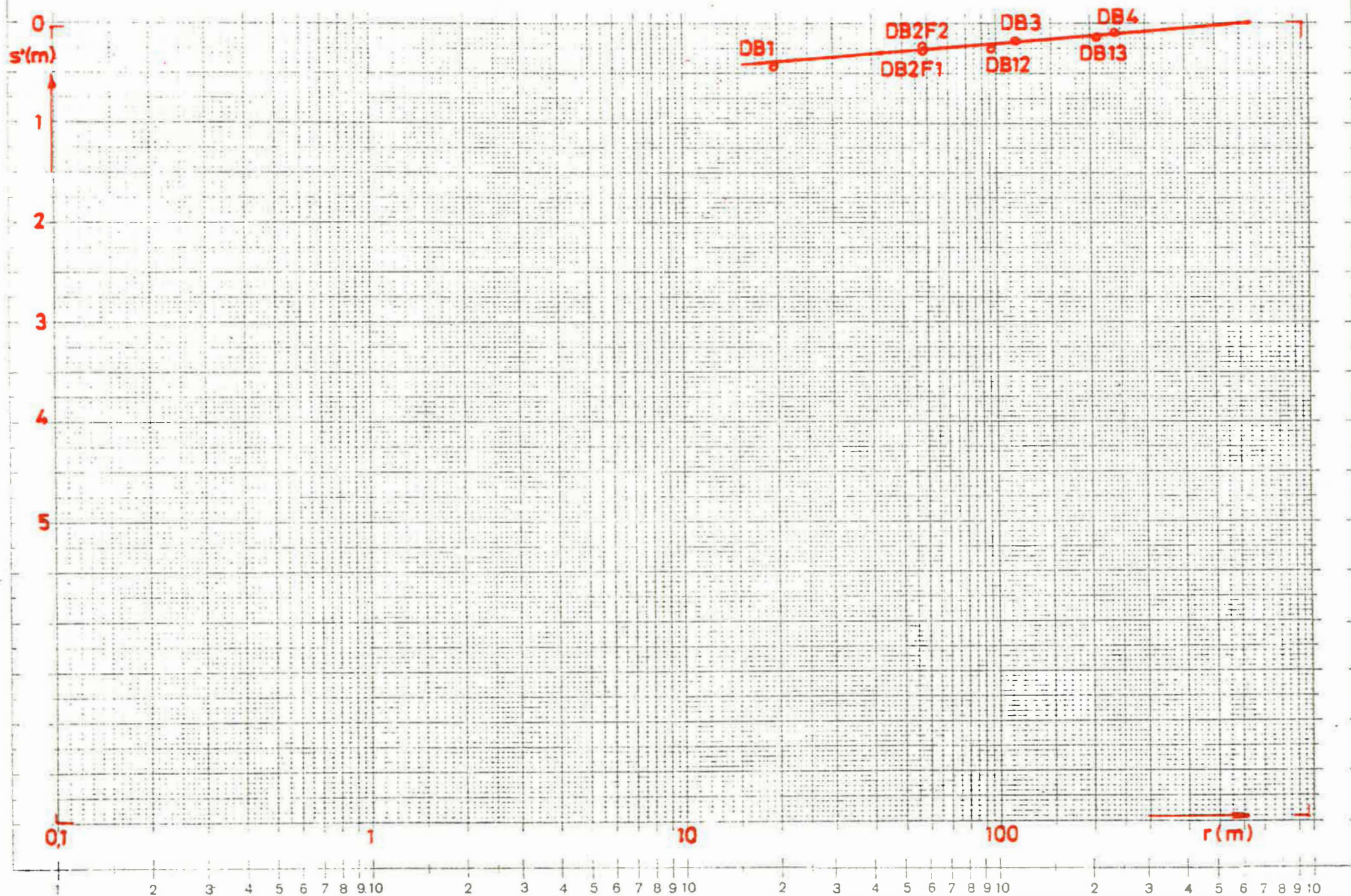
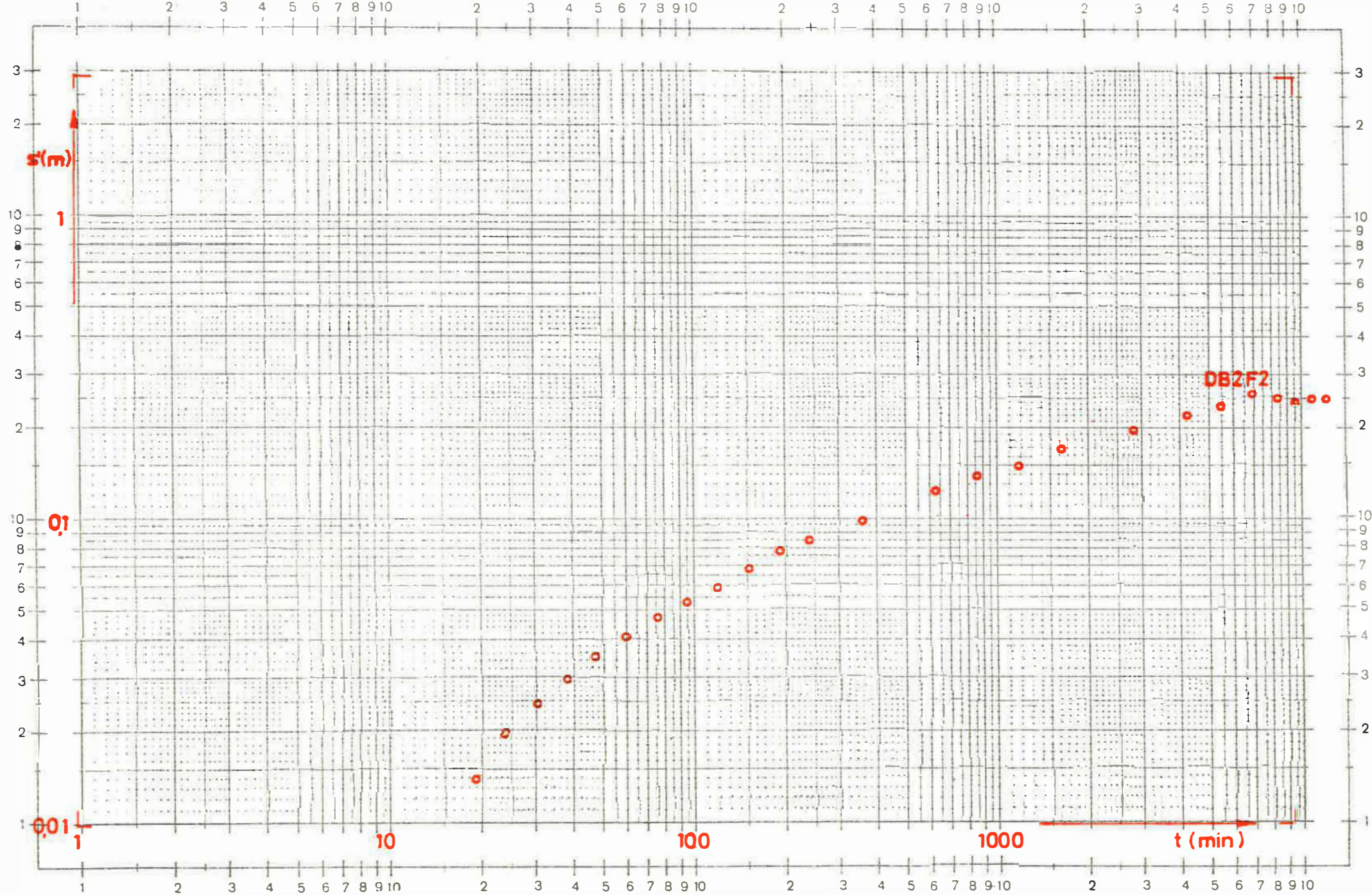


Fig. 15 - Pompproef in DB11, afstand-daling na 4500 minuten



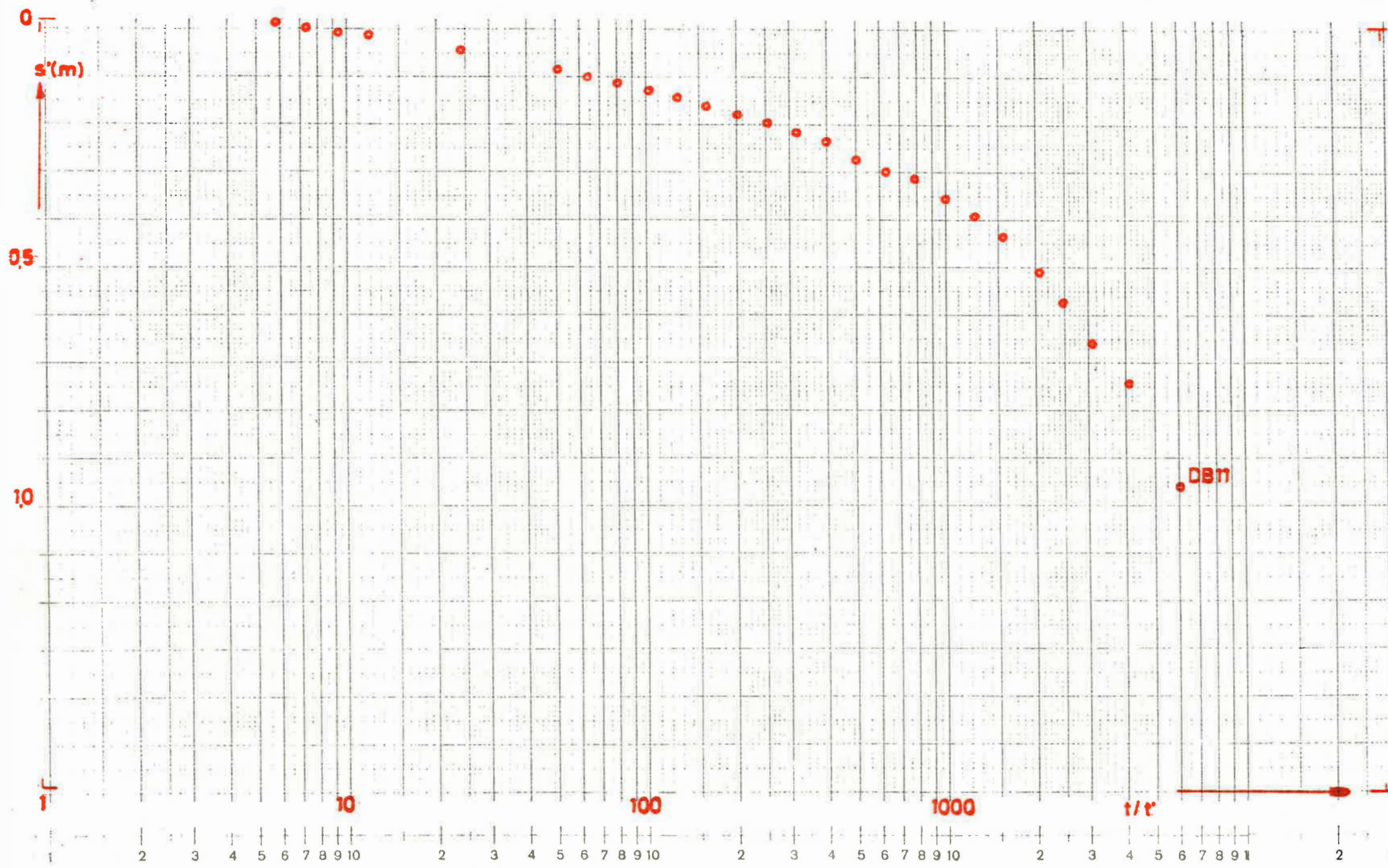


Fig. 17 - Pompproef in DB11, residuele daling in piëzometer DB11

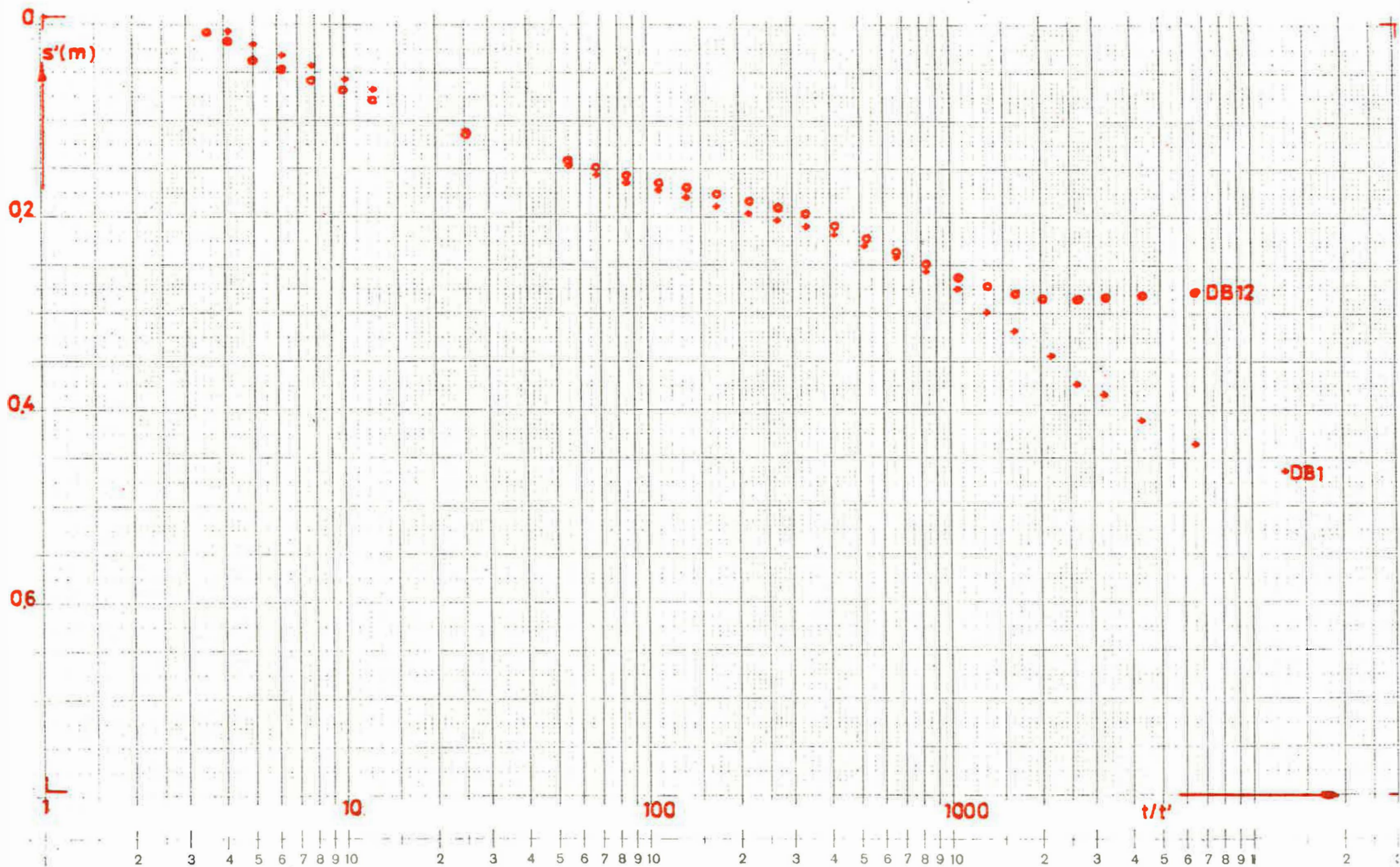


Fig. 18 - Pompproef in DB11, residuele daling in de piëzometers DB1 en DB12

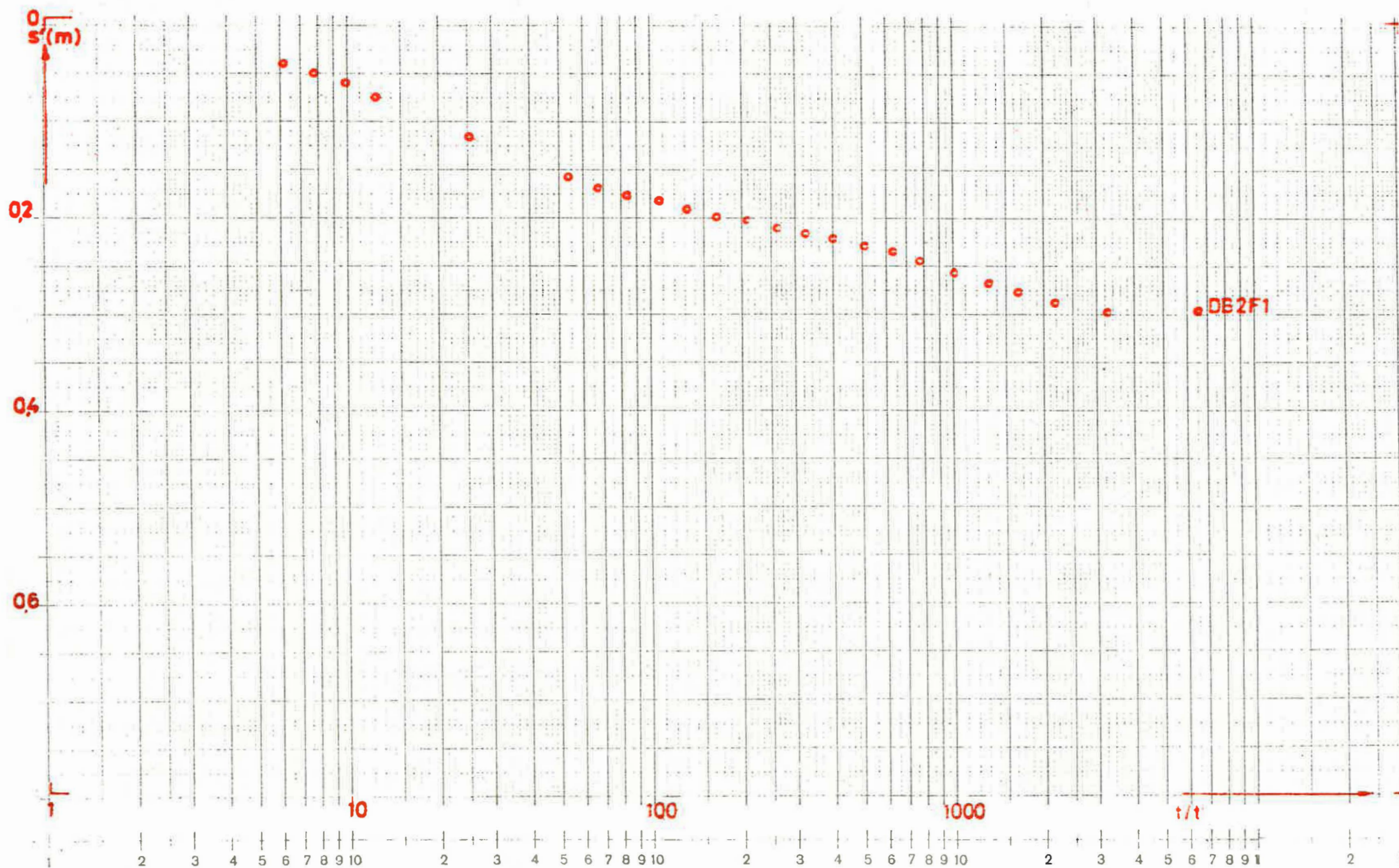


Fig. 19 - Pompproef in DB11, residuele daling in piëzometer DE2F1

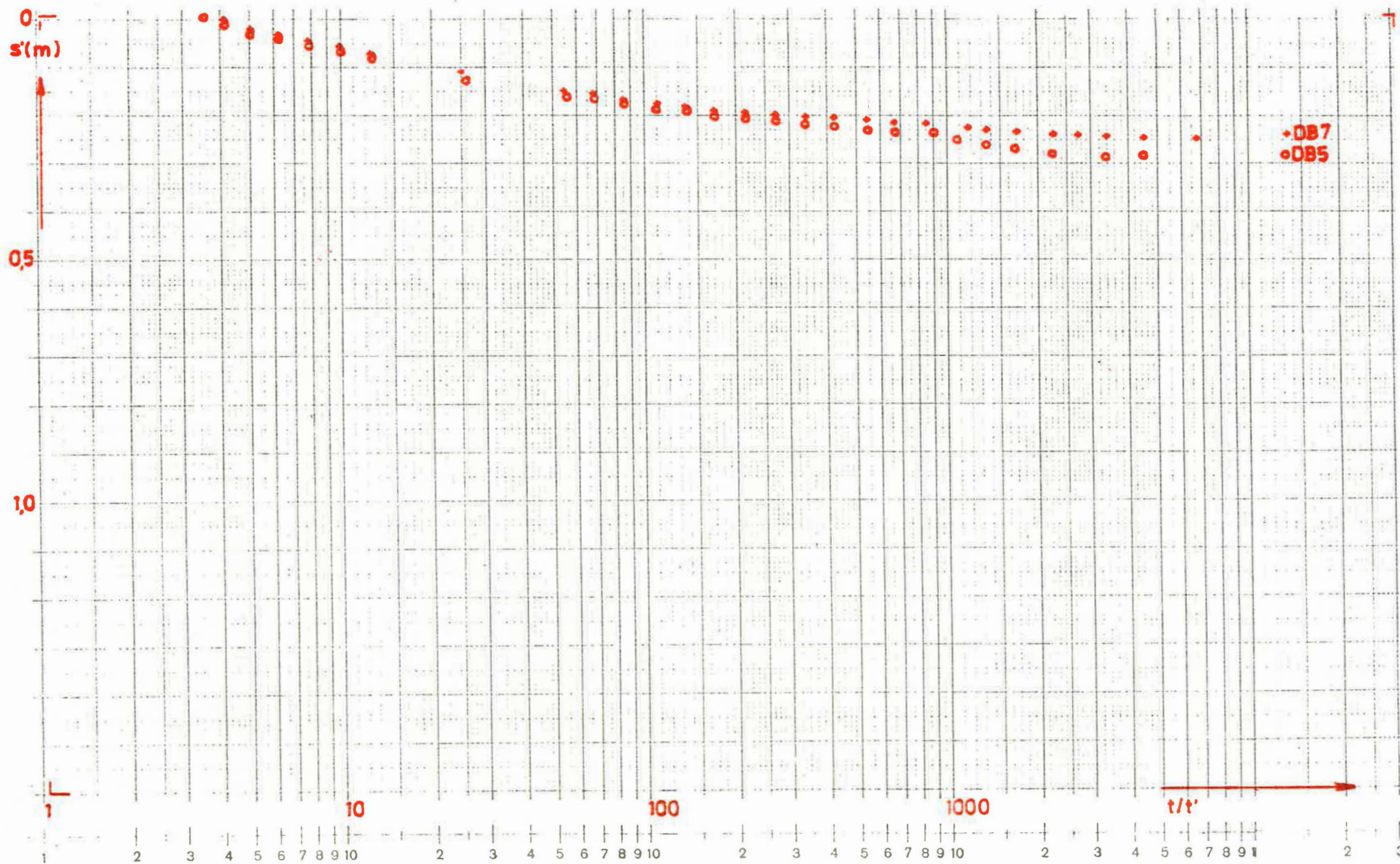


Fig. 20 - Pompproef in DB11, residuele daling in de piëzometers DB5 en DB7

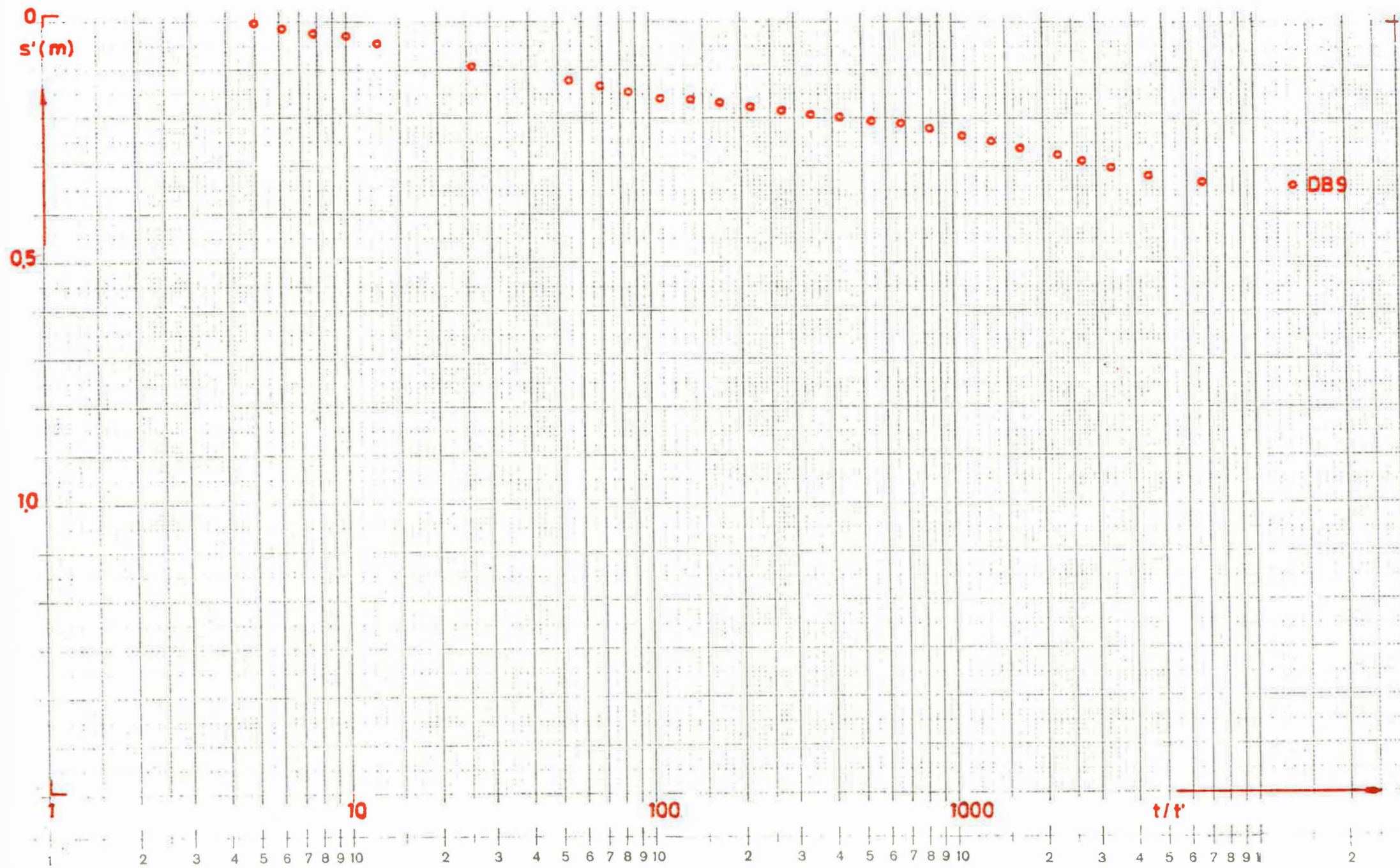


Fig. 21 - Pompproef in DB11, residuele daling in piëzometer DB9

8.5. Besluit

Het freatisch reservoir heeft een dikte van 174 meter en omvat het Zand van Mol, het Zand van Kasterlee, het Zand van Diest en het Zand van Dessel.

De waarde voor de transmissiviteit berekend uit de residuele daling benadert waarschijnlijk het best de werkelijkheid, ze bedraagt $2435 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 14,15 \text{ m/dag}$).

De transmissiviteit bekomen uit de dalende toestand bedraagt $1500 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 8,7 \text{ m/dag}$) voor de eerste pompproef (DB1) en $2835 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($k = 16,5 \text{ m/dag}$) voor de tweede pompproef (DB11). Deze verschillen zijn het gevolg van de aard van het sediment waarin de filters geplaatst zijn : de filter DB1 bevindt zich in een fijner sediment dan die van DB11. De bergingscoëfficiënt bedraagt gemiddeld $1,2 \times 10^{-3}$ bij de pompproef op DB1 en gemiddeld $4,1 \times 10^{-2}$ bij de pompproef op DB11. Men kan aannemen dat de werkelijke waarde tussen beide ligt.

9. HYDROLOGISCHE BALANS

9.1. Algemeen

Voor het opstellen van de hydrologische balans werden alle beschikbare gegevens verwerkt. De maandelijkse gemiddelde hydrometeorologische veranderlijken :

- T : de gemiddelde temperatuur
- TMIN : de minimum temperatuur
- TMAX : de maximum temperatuur
- TDP : het dauwpunt
- V : de windsnelheid
- E : de dampspanning
- RG : de globale inkomende straling na terugkaatsing
- RNET : de nettostraling
- S : de zonneschijnduur
- R : de neerslag

werden gebruikt voor de berekening van :

- PET : de potentiële evapotranspiratie
- RMP : het teoretisch tekort
- ST : de berging
- AST : de verandering van de berging
- AET : de reële evapotranspiratie
- DEF : het deficit
- SUR : de aanvulling of het overschot
- RO : de afvloei
- SMRO : de sneeuwsmeltafvloei
- TRO : de totale afvloei
- TMD : het water in de bodem boven de grondwatertafel

De waarden van transmissiviteit (kD), permeabiliteit (k) en bergingscoëfficiënt nabij de watertafel (S_0) afgeleid uit de boringen, het sedimentologisch onderzoek en de pompproeven worden samen met de gegevens bekomen uit de kaarten met de hydro-isohypsen van de freatische laag (o.a. verhang en peilveranderingen Δh) gebruikt om het ondergronds in- en uitstromend water te berekenen.

Verder werd rekening gehouden met de irrigatie, de natuurlijke afvloei langs beken en kanalen en met de hoeveelheid opgepompt water.

9.2. Meteorologische gegevens en hun verwerking

9.2.1. De potentiële evapotranspiratie

De potentiële evapotranspiratie werd berekend volgens de methode van PENMAN :

$$PET = \frac{\frac{R_n}{L} \cdot F'_T + \gamma \cdot E_a}{F'_T + \frac{\gamma}{S.D}} ;$$

hierin is

R_n , de nettostraling bepaald door

$$R_n = R_c (1 - a_s) - R_b = A + L.E$$

met R_c , de globale inkomende straling op het oppervlak

a_s , het albedo van het oppervlak, dit is de fraktie van 1 van de inkomende kortgolvlige straling die teruggekaatst wordt (voor het studiegebied gemiddeld 0,20)

R_b , de netto langgolvlige uitstraling

A , de termische energie-uitwisseling met de atmosfeer (voelbare warmte)

$L.E$, de energie verbruikt door de verdamping (positief) of vrijkomend bij condensatie (negatief).

Hierin staat L voor de latente verdampingswarmte voor water en E voor de evaporatie.

$$F'_T = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{e_{st} - e_w}{T_{st} - T}$$

met e_{st} , de verzadigde dampdruk bij de heersende temperatuur T_{st} van een blad van het vegetatiedek,

e_w , de maximale waterdampdruk bij de heersende luchttemperatuur

T , de gemiddelde temperatuur,

γ , de psychrometrische konstante bij 1015 mb

E_a , het evaporatievermogen van de lucht

S , de stomatale faktor bepaald door

$$S = \frac{L_s}{L_a + L_s}$$

met L_a , de effectieve lengte van de atmosfeer en

L_s , een faktor afhankelijk van het % van de bladoppervlakte ingenomen door huidmondjes, van het aantal stomata per mm^2 en van de dikte van de epidermis.

D, de daglengtefaktor, die rekening houdt met het gedeelte van de dag dat de huidmondjes toe zijn.

9.2.2. De werkelijke evapotranspiratie; de berging van de bodem; het deficit en de aanvulling van het grondwater

Uit de vergelijking van de potentiële evapotranspiratie (PET) met de maandelijkse neerslag (R) wordt de werkelijke evapotranspiratie (AET), de berging van water in de bodem (ST), het deficit van de bodem (DEF) en de aanvulling van het grondwater (SUR) bepaald.

Is $PET > R$ dan is $AET = R + \Delta ST$. De bergingsverandering van de bodem (ΔST) is de hoeveelheid water die door de wortels in een periode van deficit uit de waterreserve van de bodem geput wordt. De berging van de bodem t.o.v. de geakkumuleerde potentiële tekorten (APWL) verloopt volgens een exponentiële funktie :

$$ST = CAP \cdot e^{\frac{APWL}{CAP}}$$

met CAP, de maximale berging van de bodem (hier 200 mm); dit is de capaciteit van de bodem (voorhanden voor evapotranspiratie).

Het deficit wordt berekend als $DEF = PET - AET$. Is $PET < R$ dan is $AET = PET$ en $DEF = 0$. De aanvulling van het grondwater wordt :
 $SUR = R - AET - \Delta ST$. Hier is ΔST de aanvulling van ST tot het maximum ($CAP = 200 \text{ mm}$).

9.2.3. De verwerking van de meteorologische gegevens

Er werd gebruik gemaakt van de gegevens van het Centrum voor Kernenergie te Mol aangevuld met gegevens van het hydrometeorologisch station te Mol en enkele gegevens van het Koninklijk Meteorologisch Instituut te Ukkel. De onbetrouwbaarheid van de gegevens van 1976 noodzaakten een beperking tot de periode 1956-1975.

Aanhangsel 8 bevat de meteorologische gegevens en de voornaamste afgeleide afhankelijke veranderlijken. Uit de jaarlijkse hoeveelheid neerslag R en de aanvulling SUR alsook uit de totale hoeveelheid voor de onderzochte periode van 1956 tot 1975 kan men de voedingscoëfficiënt ($\frac{SUR}{R}$) per jaar evenals het gemiddelde voor de ganse periode afleiden (tabel 11). Deze bedraagt gemiddeld 30% maar met sterk uiteenlopende waarden (0,0% tot 50,7%). Het lineair verband tussen de hoeveelheid neerslag en het overschot kan men benaderd door de volgende betrekking weergeven

$$SUR = -330 + 0,8 R$$

De vergelijking van de gemiddelde maandelijkse neerslag en het overschot voor de periode 1956 tot 1975 met de maandelijkse neerslag van mei 1977 tot en met april 1978 laat toe het maandelijkse overschot voor de beschouwde periode te onderzoeken (tabel 12). In de berekening werd ook rekening gehouden met de gemiddelde maandtemperatuur. Uit deze tabel blijkt duidelijk de verandering van de voedingscoëfficiënt met hoge waarden in de winter en lage in de zomer. Voor de periode mei 1977-april 1978 voldoen R (594,7 mm) en SUR (144 mm) aan de algemene formule ($SUR = -330 + 0,8 R$).

Tabel 11 - De hoeveelheid neerslag (R), de aanvulling (SUR) evenals de voedingskoefficiënt ($\frac{SUR}{R}$) voor de periode 1956-1975

Jaar	R (mm)	SUR (mm)	$\frac{SUR}{R}$ (%)
1956	649,1	205,2	31,6
1957	728,9	257,1	35,3
1958	724,2	242,8	33,5
1959	483,9	119,7	24,7
1960	857,2	337,1	39,3
1961	890,2	401,7	45,1
1962	708,2	260,9	36,8
1963	622,1	163,1	26,2
1964	705,9	217,7	30,8
1965	980,7	496,9	50,7
1966	875,9	372,3	42,5
1967	563,2	133,6	23,7
1968	562,7	114,3	20,3
1969	521,0	75,5	14,5
1970	519,8	93,4	18,0
1971	360,6	1,7	0,5
1972	495,0	0,0	0,0
1973	469,4	9,3	2,0
1974	741,6	266,3	35,9
1975	496,0	108,4	21,9
Totaal	12955,6	3877,0	30
Gemiddeld	647,8	193,9	30

Tabel 12 - De gemiddelde maandelijkse temperatuur, de neerslag, het overschot en de voedingskoëfficiënt voor de periode 1956-1975 evenals de gemiddelde temperatuur, de neerslag en het afgeleide overschot per maand voor de periode mei 1977 - april 1978

Maand	1956-1975				1977			1978		
	T °C	R mm	SUR mm	$\frac{\text{SUR}}{\text{R}}$	T °C	R mm	SUR mm	T °C	R mm	SUR mm
januari	2,4	48,5	37,6	0,78				3,1	45,8	30
februari	2,6	43,9	31,4	0,71				2,0	20,3	14
maart	5,3	42,6	15,9	0,37				7,9	70,0	30
april	8,5	45,7	6,1	0,13				7,9	23,7	0
mei	12,6	45,9	0,0	0,00	12,6	53,1	0			
juni	15,6	58,8	0,0	0,00	15,1	88,1	0			
juli	16,9	68,3	4,2	0,06	17,5	46,9	0			
augustus	16,6	60,8	0,7	0,01	16,6	91,2	0			
september	14,4	55,1	2,6	0,05	23,5	6,0	0			
oktober	10,3	59,0	13,1	0,22	11,9	25,3	0			
november	5,7	63,8	37,5	0,59	7,3	120,3	70			
december	2,9	57,7	44,8	0,78	5,2	4,0	0			

9.3. Piëzometrische gegevens

De piëzometers van alle handgeboorde putten werden maandelijks en 10 representatieve putten (HB1, 2, 18, 20, 23, 32, 35, 40, 43 en 44) halfmaandelijks gepeild. Van de maandelijkse peilingen werden kaarten met de isohypsen van het freatisch oppervlak opgesteld (aanhangsel 9).

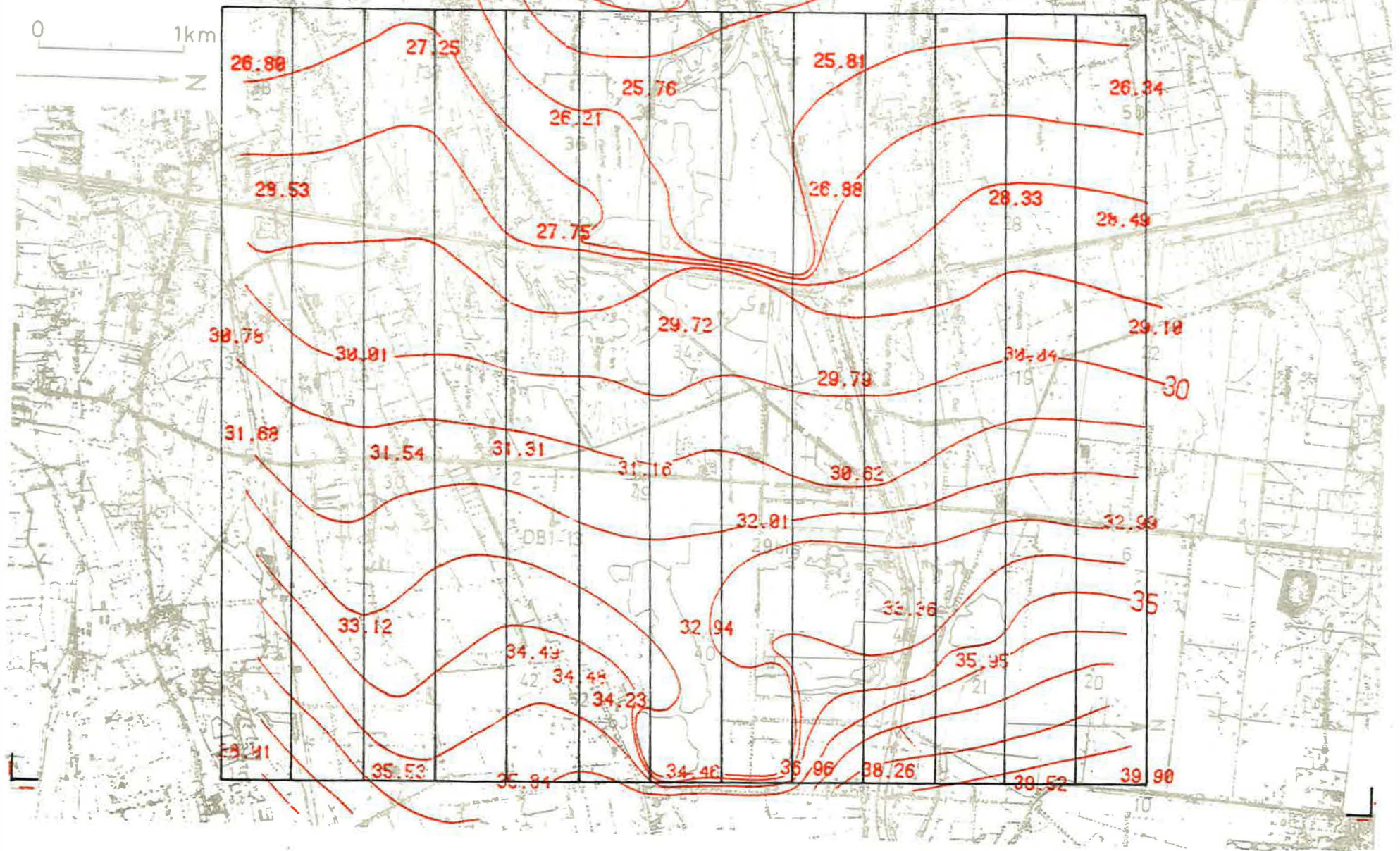
Op deze kaarten werd rekening gehouden met de waterpeilen in de plassen. Men bemerkt de algemene stroomrichting van het water (oost-west) met min of meer belangrijke afbuigingen nabij de plassen, in de rivierbekkens en de interfluvia. Van zuid naar noord heeft men het bekken van de Scheppeleikse Nete, dat van de Peerloop, Beemdenloop, Waterstraatloop en Morlenloop en dat van de Voorste Nete, Achterste Nete en Kolkenete. Het gebied wordt naar het zuiden begrensd door het interfluvium met de Molse Nete en naar het noorden door het interfluvium met de Desselse Nete. Op de top van de interfluvia zijn de isohypsen ongeveer noord-zuid gericht. Aan de oostelijke grens (fig. 22) komt het water binnen, aan de westelijke treedt het buiten. Binnenin hebben belangrijke waterbewegingen plaats, ondermeer als gevolg van pompingen, irrigatie en drainage door de waterlopen. Belangrijk is de drainage in het oostelijk deel van het studiegebied langs de brongebieden van de verschillende Nete's. Sommige plassen vormen open verbindingen met kanalen, zoals de "Schans" met het kanaal Herentals-Bocholt.

9.4. De bepaling van de transmissiviteit uit het sedimentologisch onderzoek, de pompproeven en de geologische waarnemingen

De transmissiviteit nabij Rouw bedraagt $2435 \text{ m}^2/\text{dag}$. De transmissiviteit zoals berekend uit de granulometrische verdeling bedraagt respectievelijk 1949 (O.C.W., konstante = 25) en 1801 (ERNST, konstante = 54.000). Deze waarden zijn in vgl. met de pompproef respectievelijk 1,25x en 1,35x te klein. Om die waarden in overeenstemming te brengen met die van de pompproeven moeten de konstanten worden aangepast als volgt : 73.000 (ERNST), 31 (O.C.W.) en 72 (HAZEN).

HOL, 27-28/10/1977
HYDROISCHYPSEN VAN
DE FREATISCHE LAAG

Fig. 22



Rekening houdend met de resultaten van de pompproeven, met de verbeterde gemiddelde permeabiliteiten per laag (tabel 13), en met de aard en de dikte van de lagen werd het studiegebied in dertien oost-west gerichte cellen met een breedte van 500 m ingedeeld (fig. 22). Aan iedere inlatende of uitlatende sekte werd een gemiddelde transmissiviteit toegekend.

Tabel 13 - De verbeterde permeabiliteit, per groep afzettingen, (O.C.W., ERNST, gemiddelde)

Groep	O.C.W.	ERNST	Gemiddelde
Z.D.	7,15	6,43	6,8
N.D.	6,77	6,60	6,7
M II	20,34	15,75	18,0
M Ib	14,48	14,80	14,6
MIa + K	7,14	4,72	5,9
D	17,11	18,86	18,0
De	13,68	11,30	12,5

Deze is het hoogst aan de oostgrens van de meest noordelijke cel en het laagst aan de westgrens van de meest zuidelijke cel. De verschillen in transmissiviteit zijn vooral het gevolg van de verandering in dikte van de lagen.

Bij een vroeger onderzoek uitgevoerd bij de Firma EUROCHIMIC werd uit de granulometrie met de formule van HAZEN de gemiddelde permeabiliteit van het Zand van Diest, het Zand van Dessel en het Zand van Mol (MIb) berekend. Deze bedroeg gemiddeld, respectievelijk 19 m/dag, 14,5 m/dag en 18,3 m/dag. Bij deze berekening werd aan de konstante de waarde 100 toegekend.

De indeling in cellen werd mede bepaald door de variaties van het verhang evenals door geologisch belangrijke verschijnselen (de breuk van Rouw). Ten noorden van de breuk van Rouw werd bovendien een korrektie (reduktie) toegepast wegens de verticale spronghoogte van de breuk en

het lateraal kontakt tussen het Zand van Dessel en het Zand van Antwerpen. De aangenomen gemiddelde dikten voor de verschillende groepen nabij de grenzen werden uitgezet in tabel 14.

Tabel 14 - Gemiddelde dikte van de sedimentgroepen aan de westelijke en oostelijke grens van het gebied

Groep	Oostelijke grens		Westelijke grens		
	N.v.Rouw	Z.v.Rouw	N	Centraal	Z
Z.D.	/	/	/	/	5,5 m
N.D.	/	/	7,5 m	/	/
M II	20 m	/	/	/	/
M Ib	20 m	7 m	10 m	15 m	11 m
MIa + K	45 m	35 m	30 m	30 m	32 m
D	80 m	80 m	78 m	75 m	73 m
De	65 m	65 m	50 m	45 m	40 m

De hoeveelheid water per dag (Q_{i1}) die in cel 1 binnendringt wordt gegeven door :

$$Q_{i1} = I_{i1} \times kD_{i1} \times b_{i1}$$

waarin I_{i1} = verhang in cel 1 nabij de inlatende grens

kD_{i1} = transmissiviteit van de inlatende sekte

b_{i1} = breedte van de cel

De hoeveelheid water per dag (Q_{u1}) die cel 1 verlaat wordt berekend uit :

$$Q_{u1} = I_{u1} \times kD_{u1} \times b_{u1}$$

waarin I_{u1} = verhang in cel 1 nabij de uitlatende grens

kD_{u1} = transmissiviteit van de uitlatende sekte

b_{u1} = breedte van de cel

I_i , kD_i , Q_i , I_u , kD_u en Q_u voor iedere sekte zijn aangegeven in tabel 15. De kaarten 1 tot en met 13 in deze tabel stemmen respektievelijk overeen met de piëzometrische gegevens weergegeven in aanhangsel 9.

Tabel 15 - De evolutie van de hydraulische factoren per sectie

Kaart 1 : 28/4; 4-6/5/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0034	3100	5270.0	0.0012	2400	1440.0
2	0.0040	3070	6140.0	0.0015	2380	1785.0
3	0.0045	3040	6840.0	0.0017	2360	2006.0
4	0.0047	3010	7073.5	0.0019	2340	2223.0
5	0.0062	2980	9238.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0315	2950	46462.5	0.0017	2310	1963.5
7	0.0262	2920	38252.0	0.0025	2295	2868.8
8	0.0054	2890	7803.0	0.0030	2280	3420.0
9	0.0044	2620	5764.0	0.0019	2265	2151.8
10	0.0019	2590	2460.5	0.0015	2245	1683.8
11	0.0032	2560	4096.0	0.0011	2225	1223.8
12	0.0037	2530	4680.5	0.0013	2205	1433.3
13	0.0033	2500	4125.0	0.0013	2185	1420.3
TOTAAL			148205.0			25479.0

$$Q_i - Q_u = 122726$$

Kaart 2 : 24-26/5/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0036	3100	5580.0	0.0012	2400	1440.0
2	0.0040	3070	6140.0	0.0015	2380	1785.0
3	0.0049	3040	7448.0	0.0017	2360	2006.0
4	0.0050	3010	7525.0	0.0018	2340	2106.0
5	0.0046	2980	6854.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0315	2950	46462.5	0.0017	2310	1963.5
7	0.0315	2920	45990.0	0.0019	2295	2180.3
8	0.0037	2890	5346.5	0.0029	2280	3306.0
9	0.0025	2620	3275.0	0.0018	2265	2038.5
10	0.0018	2590	2331.0	0.0015	2245	1683.8
11	0.0031	2560	3968.0	0.0012	2225	1335.0
12	0.0033	2530	4174.5	0.0015	2205	1653.8
13	0.0026	2500	3250.0	0.0014	2185	1529.5
TOTAAL			148344.5			24887.3

$$Q_i - Q_u = 123457.25$$

Tabel 15 - vervolg

Kaart 3 : 30/6; 1/7/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0025	3100	4030.0	0.0014	400	1680.0
2	0.0035	3070	5372.5	0.0015	2380	1785.0
3	0.0042	3040	6384.0	0.0019	2360	2242.0
4	0.0050	3010	7525.0	0.0018	2340	2106.0
5	0.0096	2980	14304.0	0.0017	2325	1976.3
6	0.0210	2950	30975.0	0.0018	2310	2079.0
7	0.0197	2920	28762.0	0.0021	2295	2409.8
8	0.0044	2890	6358.0	0.0033	2280	3762.0
9	0.0022	2620	2882.0	0.0019	2265	2151.8
10	0.0015	2590	1942.5	0.0017	2245	1908.3
11	0.0030	2560	3840.0	0.0013	2225	1446.3
12	0.0031	2530	3921.5	0.0015	2205	1653.8
13	0.0026	2500	3250.0	0.0016	2185	1748.0
TOTAAL			119546.5			26948.0
$Q_i - Q_u = 92598.5$						

Kaart 4 : 1/8/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0027	3100	4185.0	0.0014	2400	1680.0
2	0.0044	3070	6754.0	0.0015	2380	1785.0
3	0.0051	3040	7752.0	0.0016	2360	1888.0
4	0.0039	3010	5869.5	0.0017	2340	1989.0
5	0.0040	2980	5960.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0242	2950	35695.0	0.0020	2310	2310.0
7	0.0158	2920	23068.0	0.0022	2295	2524.5
8	0.0041	2890	5924.5	0.0030	2280	3420.0
9	0.0015	2620	1965.0	0.0017	2265	1925.3
10	0.0014	2590	1813.0	0.0017	2245	1908.3
11	0.0032	2560	4096.0	0.0013	2225	1446.3
12	0.0031	2530	3921.5	0.0015	2205	1653.8
13	0.0030	2500	3750.0	0.0010	2185	1092.5
TOTAAL			110753.5			25482.5
$Q_i - Q_u = 85271$						

Tabel 15 - vervolg

5 : 1-2/9/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0034	3100	5270.0	0.0012	2400	1440.0
2	0.0040	3070	6140.0	0.0015	2380	1785.0
3	0.0051	3040	7752.0	0.0019	2360	2242.0
4	0.0053	3010	7976.5	0.0017	2340	1985.0
5	0.0042	2980	6258.0	0.0017	2325	1976.3
6	0.0137	2950	20207.5	0.0018	2310	2079.0
7	0.0225	2920	32850.0	0.0021	2295	2409.8
8	0.0046	2890	6647.0	0.0030	2280	3420.0
9	0.0020	2620	2620.0	0.0017	2265	1925.3
10	0.0016	2590	2072.0	0.0012	2245	1347.0
11	0.0030	2560	3840.0	0.0011	2225	1223.8
12	0.0034	2530	4301.0	0.0015	2205	1653.8
13	0.0024	2500	3000.0	0.0013	2185	1420.3
TOTAAL			108934.0	24911.0		
$Q_i - Q_u = 84023$						

Kaart 6 : 29-30/9/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0037	3100	5735.0	0.0013	2400	1560.0
2	0.0040	3070	6140.0	0.0012	2380	1428.0
3	0.0046	3040	6992.0	0.0014	2360	1652.0
4	0.0067	3010	10083.5	0.0018	2340	2106.0
5	0.0109	2980	16241.0	0.0017	2325	1976.3
6	0.0263	2950	38792.5	0.0020	2310	2310.0
7	0.0175	2920	25550.0	0.0020	2295	2295.0
8	0.0067	2890	9681.5	0.0027	2280	3078.0
9	0.0022	2620	2882.0	0.0020	2265	2265.0
10	0.0014	2590	1813.0	0.0016	2245	1791.0
11	0.0028	2560	3584.0	0.0012	2225	1335.0
12	0.0032	2530	4048.0	0.0008	2205	882.0
13	0.0026	2500	3250.0	0.0008	2185	874.0
TOTAAL			134792.5	23557.3		
$Q_i - Q_u = 111235.25$						

Tabel 15 - vervolg

Kaart 7 : 27-28/10/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0042	3100	6510.0	0.0013	2400	1560.0
2	0.0054	3070	8289.0	0.0014	2380	1666.0
3	0.0039	3040	5928.0	0.0013	2360	1534.0
4	0.0040	3010	6020.0	0.0015	2340	1755.0
5	0.0077	2980	11473.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0286	2950	42185.0	0.0020	2310	2310.0
7	0.0315	2920	45990.0	0.0020	2295	2295.0
8	0.0034	2890	4913.0	0.0029	2280	3306.0
9	0.0018	2620	2358.0	0.0017	2265	1925.3
10	0.0017	2590	2201.5	0.0014	2245	1571.5
11	0.0030	2560	3840.0	0.0013	2225	1446.3
12	0.0028	2530	3542.0	0.0011	2205	1212.8
13	0.0026	2500	3250.0	0.0010	2185	1092.5
TOTAAL			146499.5			23534.3

$$Q_i - Q_u = 122965.25$$

Kaart 8 : 1-2/12/1977

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0037	3100	5735.0	0.0012	2400	1440.0
2	0.0037	3070	5679.5	0.0014	2380	1666.0
3	0.0038	3040	5776.0	0.0017	2360	2006.0
4	0.0041	3010	6170.5	0.0018	2340	2106.0
5	0.0093	2980	13857.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0225	2950	33187.5	0.0017	2310	1963.5
7	0.0242	2920	35332.0	0.0023	2295	2630.3
8	0.0059	2890	8525.5	0.0030	2280	3420.0
9	0.0027	2620	3537.0	0.0021	2265	2378.3
10	0.0016	2590	2072.0	0.0015	2245	1683.8
11	0.0029	2560	3712.0	0.0011	2225	1223.8
12	0.0029	2530	3668.5	0.0010	2205	1102.5
13	0.0022	2500	2750.0	0.0011	2185	1201.8
TOTAAL			130002.5			24690.8

$$Q_i - Q_u = 105311.75$$

Tabel 15 - vervolg

Kaart 9 : 2-3/1/1978

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0035	3100	5425.0	0.0011	2400	1320.0
2	0.0035	3070	5372.5	0.0014	2380	1666.0
3	0.0038	3040	5776.0	0.0018	2360	2124.0
4	0.0044	3010	6622.0	0.0019	2340	2223.0
5	0.0109	2980	16241.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0197	2950	29057.5	0.0017	2310	1963.5
7	0.0175	2920	25550.0	0.0023	2295	2639.3
8	0.0047	2890	6791.5	0.0035	2280	3990.0
9	0.0035	2620	4585.0	0.0020	2265	2265.0
10	0.0030	2590	5180.0	0.0013	2245	1459.3
11	0.0030	2560	3840.0	0.0012	2225	1335.0
12	0.0030	2530	3795.0	0.0010	2205	1102.5
13	0.0027	2500	3375.0	0.0011	2185	1201.8

TOTAAL

121610.5

25149.3

$$Q_i - Q_u = 96461.25$$

Kaart 10 : 2-3/2/1978

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0037	3100	5735.0	0.0011	2400	1320.0
2	0.0034	3070	5219.0	0.0015	2380	1785.0
3	0.0036	3040	5472.0	0.0019	2360	2242.0
4	0.0044	3010	6622.0	0.0019	2340	2223.0
5	0.0132	2980	19668.0	0.0017	2325	1976.3
6	0.0210	2950	30975.0	0.0018	2310	2079.0
7	0.0450	2920	65700.0	0.0021	2295	2409.3
8	0.0053	2890	7658.5	0.0030	2280	3420.0
9	0.0027	2620	3537.0	0.0020	2265	2265.0
10	0.0014	2590	1813.0	0.0013	2245	1459.3
11	0.0029	2560	3712.0	0.0010	2225	1112.5
12	0.0026	2530	3289.0	0.0008	2205	882.0
13	0.0027	2500	3375.0	0.0012	2185	1311.0

TOTAAL

162775.5

24484.8

$$Q_i - Q_u = 138290.75$$

Tabel 15 - vervolg

Kaart 11 : 1-2/3/1978

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0038	3100	5890.0	0.0010	2400	1200.0
2	0.0034	3070	5219.0	0.0014	2380	1666.0
3	0.0040	3040	6090.0	0.0017	2360	2006.0
4	0.0046	3010	6923.0	0.0018	2340	2106.0
5	0.0072	2980	10728.0	0.0016	2325	1860.0
6	0.0225	2950	33187.5	0.0018	2310	2079.0
7	0.0225	2920	32850.0	0.0022	2295	2524.5
8	0.0031	2890	4479.5	0.0029	2280	3306.0
9	0.0022	2620	2882.0	0.0019	2265	2151.8
10	0.0012	2590	1554.0	0.0013	2245	1459.3
11	0.0021	2560	2688.0	0.0010	2225	1112.5
12	0.0028	2530	3542.0	0.0010	2205	1102.5
13	0.0028	2500	3500.0	0.0012	2185	1311.0

TOTAAL

119523.0

23824.5

$$Q_i - Q_u = 95638.5$$

Kaart 12 : 3-4/4/1978

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0033	3100	5115.0	0.0010	2400	1200.0
2	0.0045	3070	6907.5	0.0012	2380	1428.0
3	0.0036	3040	5472.0	0.0016	2360	1888.0
4	0.0041	3010	6170.5	0.0018	2340	2106.0
5	0.0038	2980	5662.0	0.0015	2325	1743.8
6	0.0286	2950	42185.0	0.0017	2310	1963.5
7	0.0225	2920	32850.0	0.0023	2295	2639.3
8	0.0060	2890	8670.0	0.0031	2280	3534.0
9	0.0019	2620	2489.0	0.0020	2265	2265.0
10	0.0016	2590	2072.0	0.0013	2245	1459.3
11	0.0026	2560	3328.0	0.0012	2225	1335.0
12	0.0030	2530	3795.0	0.0010	2205	1102.5
13	0.0024	2500	3000.0	0.0016	2185	1748.0

TOTAAL

127716.0

24412.3

$$Q_i - Q_u = 103303.75$$

Tabel 15 - vervolg

Kaart 13 : 2-3/5/1978

	I_i	kD_i	Q_i	I_u	kD_u	Q_u
1	0.0038	3100	5890.0	0.0010	2400	1200.0
2	0.0037	3070	5679.5	0.0013	2380	1547.0
3	0.0054	3040	8208.0	0.0018	2360	2124.0
4	0.0050	3010	7525.0	0.0017	2340	1989.0
5	0.0096	2980	14304.0	0.0015	2325	1743.8
6	0.0210	2950	30975.0	0.0017	2310	1963.5
7	0.0175	2920	25550.0	0.0021	2295	2409.8
8	0.0057	2890	8236.5	0.0030	2280	3420.0
9	0.0022	2620	2882.0	0.0017	2265	1935.3
10	0.0018	2590	2331.0	0.0017	2245	1908.3
11	0.0027	2560	3456.0	0.0011	2225	1223.8
12	0.0036	2530	4554.0	0.0012	2205	1323.0
13	0.0027	2500	3375.0	0.0015	2185	1638.8

TOTAAL

122966.0

24416.0

$Q_i - Q_u = 98550$

De tabel bevat voor iedere opname de totale hoeveelheid inkomend water, de totale hoeveelheid uitgaand water en het verschil tussen beide ($Q_i - Q_u = \Delta Q$).

9.5.. De bergingsverandering

De bergingsverandering ΔS wordt berekend uit de bergingskoëfficiënt nabij de watertafel S_o , uit de oppervlakte van het gebied (3575 ha) en uit de stijging of daling (Δh) van de grondwatertafel volgens de betrekking $\Delta S = S_o \times \Delta h \times \text{oppervlakte}$. Deze berekeningen gebeuren per maand.

In tabel 16 wordt de peilverandering (Δh) telkens aangegeven t.o.v. de stand op het einde van de vorige maand. Zo werd op het einde van mei 1977 t.o.v. het einde van april 1977 geen verandering waargenomen.

Een bijkomende berging wordt gevormd door de inname van het volume ontgonnen zand (ca. 150.000 m³/maand) door water. Het volume van materiaal bedraagt ongeveer tweederden zodat per maand ca. 100.000 m³ water de plaats van het zand inneemt. De totale berging $\Delta S_{(T)}$ is dan ook de som van deze berging en de bergingsverandering ΔS .

Tabel 16 - De stijging (+) of daling (-) van het gemiddelde waterpeil (Δh), de bergingsverandering ΔS per maand, en de totale bergingsverandering $\Delta S_{(T)}$ (met inbegrip van het ontzande volume)

maand	Δh (m)	ΔS $\times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$	$\Delta S_{(T)}$ $\times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$
mei (1977)	0,00	0	+ 100
juni	+0,13	+1022	+1122
juli	-0,16	-1258	-1158
augustus	+0,07	+ 551	+ 651
september	-0,19	-1494	-1394
oktober	-0,09	- 708	- 608
november	+0,30	+2360	+2460
december	-0,02	- 157	- 57
januari (1978)	+0,05	+ 393	+ 494
februari	-0,18	-1416	-1316
maart	+0,11	+ 865	+ 965
april	0,00	0	+ 100

9.6. De irrigatie en het opgepompt water

Het volume irrigatiewater werd afgeleid uit het algemeen plan der wateringen van de Dienst der Scheepvaart (aanhangsel 10). Dit plan geeft het normaal debiet in m^3/sec van de watervangen aan. Het totaal debiet van de irrigatie in het studiegebied bedraagt ca. $1,45 \text{ m}^3/\text{sec}$. Uit het debiet voor alle watervangen op de Kempische Kanalen (ca. $7,5 \text{ m}^3/\text{sec}$) en het beschikbaar overschot in de kanalen voor bevloeiing (ca. $3,5 \text{ m}^3/\text{sec}$) dient er te worden aangenomen dat ongeveer de helft van de totale hoeveelheid irrigatiewater opnieuw in de kanalen terecht komt.

Alhoewel in de streek van Mol belangrijke hoeveelheden water opgepompt worden zijn de winningen in het studiegebied zelf eerder beperkt; bovendien wordt een aanzienlijk deel van het opgepompte water (o.m. koelwater) opnieuw in het gebied geloosd. Men kan bij benadering de hoeveelheid opgepompt water op ongeveer $0,05 \text{ m}^3/\text{sec}$ ramen. Hierbij werd rekening gehouden met een toename van de pompingen van 1975 tot 1977. Hieruit volgt dat na aftrek van het opgepompte debiet er door irrigatie ca. $120.000 \text{ m}^3/\text{dag}$ in het gebied ($1,40 \text{ m}^3/\text{sec}$) wordt aangevoerd.

9.7. De oppervlakkige aan- en afvoer

De oppervlakkige aan- en afvoer gebeurt langs de waterlopen en langs de open verbindingen tussen de zandgroeven en de kanalen. De debieten in de beken werden herhaalde malen opgenomen.

In een periode dat de pompingen op de plas van Rouw stil lagen, werd het debiet gemeten op de verbinding van de plas van Schans en een zijarm van het kanaal Bocholt-Herentals. Hieruit bleek dat de waterstromingen van en naar de plas bepaald werden door de versassingen. Tijdens de metingen veranderde herhaaldelijk de zin van de waterstroming, zodat noch een momentopname noch een langdurige meting een bruikbare waarde voor de in- of uitgaande waterhoeveelheid oplevert.

Voor een nauwkeurige evaluatie van de oppervlakkige aan- en afvoer zou men over continue registraties van de peilen in de beken en kanalen moeten kunnen beschikken. Deze zouden met regelmatige debietmetingen moeten aangevuld worden. In het bestek van deze studie was dat niet te verwezenlijken. Het verschil tussen de hoeveelheid in- en uitstromend water werd dan ook afgeleid uit de hydrologische balans.

9.8. De hydrologische balans

De gegevens voor de maandelijkse hydrologische balans zijn respectievelijk $\Delta Q_{(T)}$, $\Delta S_{(T)}$, SUR en het verschil tussen de hoeveelheid irrigatiewater en de hoeveelheid opgepompt water. $\Delta Q_{(T)}$ wordt bepaald uit de ΔQ aan het begin en aan het einde van iedere maand. De balans (tabel 17) wordt :

$$\Delta Q_{(T)} - \Delta S_{(T)} + SUR + \text{irrigatie-opgepompt} = \Sigma \text{ oppervlakkige afvoer-aanvoer.}$$

9.9. Besluit

Uit de hydrologische balans blijkt dat een belangrijk deel van het grondwater oppervlakkig wordt afgevoerd. Deze afvoer is het hoogst in de winter, het laagst in de zomer. Men mag aannemen dat in droge perioden de dagelijkse afvoer nog ca. 150.000 m³ bedraagt.

Wanneer men het wateroverschot in de kanalen (3,5 m³/s) vergelijkt met de hoeveelheid irrigatiewater, die in het ganse gebied wordt aangevoerd (7 m³/s) stelt men vast dat :

- een belangrijke hoeveelheid water vanuit het gebied naar de kanalen vloeit (3,5 m³/s),
- een verhoogde afname uit de kanalen door een vergroting van de afvoer uit het gebied zal moeten gecompenseerd worden.

De ontzanding brengt een maandelijkse bijkomende berging van ca. 100.000 m³ water met zich mee. Op lange termijn betekent dit een aanzienlijke verhoging van het waterpotentieel in het gebied en een toename van de bufferrol die de plassen bij een waterwinning kunnen spelen.

Tabel 17 - De hydrologische balans

Maand	gem. $\Delta Q_{(T)}$ /dag $\times 10^3 \text{ m}^3$	$\Delta Q_{(T)}$ /maand $\times 10^3 \text{ m}^3$	$\Delta S_{(T)}$ $\times 10^3 \text{ m}^3$	SUR $\times 10^3 \text{ m}^3$	Irrigatie- opgepompt $\times 10^3 \text{ m}^3$	Oppervlakkige afvoer/maand $\times 10^3 \text{ m}^3$	Opp.afvoer /dag $\times 10^3 \text{ m}^3$
mei	123,09	3816	+ 100	0	3720	7436	240
juni	108,03	3241	+1122	0	3600	5719	191
juli	88,93	2757	-1158	0	3720	7635	246
augustus	84,65	2624	+ 651	0	3720	5693	184
september	97,63	2929	-1394	0	3600	7923	264
oktober	117,10	3630	- 608	0	3720	7958	257
november	114,14	3424	+2460	2500	3600	7064	235
december	100,89	3127	- 57	0	3720	6904	223
januari	117,38	3639	+ 493	1070	3720	7936	256
februari	116,96	3275	-1316	500	3360	8451	302
maart	99,47	3084	+ 965	1070	3720	6909	223
april	100,93	3028	+ 100	0	3600	6528	218

10. INPLANTING VAN EEN WATERWINNING VAN 50.000 m³ PER DAG

In geval van een winning van 50.000 m³ per dag kan men tal van mogelijkheden uitwerken. Op grond van de gegevens valt het moeilijk te voorspellen in welke mate de winning enerzijds het oppervlaktewater en anderzijds het grondwater zal aantappen. Die invloed zal verschillen naargelang van verschillende factoren zoals de diepte en de lengte van de filters, de wijze van inplanting van de putten, het pompdebiet per put, de permeabiliteit van het gesteente en de afstand tot de plassen. Een waterwinning ook in het bovenste gedeelte van het reservoir zal de grondwaterstroming in het ganse reservoir beïnvloeden.

Indien men ervan uitgaat dat in het bovenste gedeelte van het reservoir moet gepompt worden kan men de waterwinning beperken tot het Zand van Mol en het Zand van Kasterlee die samen 30 tot 50 m dikte bereiken. Hierbij zullen de filters vooral in fijnkorrelige sedimenten met een relatief kleine permeabiliteit geplaatst worden. Daar het Zand van Mol en Zand van Kasterlee nabij de plas van Rouw hun grootste dikte bereiken zou men een waterwinning bij voorkeur daar kunnen inplanten. Een winning in de nabijheid van die plas zou daarenboven in belangrijke mate beroep doen op het oppervlaktewater.

Technisch is het echter verkieslijk de filters te plaatsen tussen 35 en 85 m omdat aldus de filters ook in het grovere Zand van Diest zouden geplaatst zijn.

Rekent men op een debiet van 105 m³ per uur per put, dan zou men een reeks van 20 putten moeten boren. Liggen de putten op een rij op 100 m van elkaar dan mag men aannemen dat het pomppeil in de putten niet dieper dan 30 m zal dalen. Op 100 m van de puttenbatterij mag een verlaging van maximum 4,5 m en op 250 m van maximum 3 m verwacht worden. Bij een inplanting nabij de plassen zal de daling kleiner zijn. Daarbij is het aan te raden de puttenbatterij ongeveer noord-zuid te richten, loodrecht op de stromingsrichting, en bij voorkeur aan de westelijke zijde van een plas.

Twee zones komen voor een dergelijke waterwinning in aanmerking :

1. de zone van Warande, Schans en Miramar
2. de zone van Rouw

De zone van Warande, Schans en Miramar biedt de volgende voordelen :

- het water in de plas van Schans wordt thans voortdurend aangevuld door de pompingen ten behoeve van het zandtransport van de winning van Sibelco,
- in die zone is geen verdere uitbreiding van de zandontginningen te verwachten,
- naast de plas van Schans vormen de plassen van Miramar en Warande een buffer.

Als nadelen kan men vermelden dat :

- de winning de wateraanvoer naar het kanaal Herentals-Bocholt en naar de Witte Nete zal beïnvloeden
- plaatselijk de vegetatie kan beïnvloed worden ;

De zone van Rouw biedt de volgende voordelen :

- de rechtstreekse invloed op de oppervlaktewateren is gering,
- op geringe diepte komt een lignietlaag voor, waardoor de invloed van een winning zich in de wortelzone minder scherp zal laten gevoelen
- het bestaande irrigatiestelsel zorgt voor de aanvoer van water; het kan desnoods aangepast worden,
- er komt weinig bewoning voor.

Als nadelen zijn te vermelden dat :

- de put nog geruime tijd in ontginning zal blijven, waardoor de bufferrol van de plas verminderd wordt,
- langs de weg Balen-Postel een vuilnisbelt ligt, die eventueel de kwaliteit van het water kan beïnvloeden
- een geringe daling van het Zilvermeer mogelijk is.

Uit de pompproeven is af te leiden dat de invloedsstraal in niet-permanente toestand na 50 dagen 1000 m zou bedragen. In permanente toestand zal de invloed groter zijn. Een winning van 50.000 m³ per dag uit een reeks putten op een lijn van 2 km lengte, waarvan de filters van 35 tot 85 m diepte geplaatst zijn, zal in 50 dagen een volume grond van 12.500.000 m³ ontwateren. Wegens het verhang zal bij een opstelling loodrecht op de stroomlijnen de ontwaterde zone stroomopwaarts groter zijn dan stroomafwaarts. Rekening houdend met de hydrologische parameters komt men tot een beschermingszone (van 50 dagen) van 90 m stroomopwaarts en 50 m stroomafwaarts.

Een waterwinning in het Zand van Mol en het Zand van Kasterlee zou voor hetzelfde debiet een groter aantal putten en een grotere beschermingszone vergen.

11. ALGEMEEN BESLUIT

In het plassengebied van Mol vormen nabij de plas van Rouw het Zand van Mol, het Zand van Kasterlee, het Zand van Diest en het Zand van Dessel één enkel freatisch reservoir, dat 174 m dikte bereikt.

De hydrologische balans van het gebied wijst uit dat een waterwinning van 50.000 m³ per dag geen ernstige verstoring van de bestaande toestand zal teweegbrengen. Men stelt immers vast dat in de droogste maand van 1977 de oppervlakkige afvoer uit het gebied 184.000 m³ per dag bedroeg, waarvan ongeveer 60.000 m³ per dag naar de kanalen terugvloeide.

Op grond van de gegevens is moeilijk te voorspellen in welke mate een waterwinning enerzijds het oppervlaktewater en anderzijds het grondwater zal aanspreken. Die invloed hangt af van verschillende factoren, ondermeer de diepte van de filters. Een winning in het bovenste gedeelte zal de grondwaterstroming in het ganse reservoir beïnvloeden.

Een inplanting van de filters van 35 tot 85 m diepte is technisch gunstiger dan van 30 tot 50 m maar zal een grotere weerslag hebben op de grondwaterstroming in de diepere lagen.

Een waterwinning nabij de plas van Rouw zal op de waterlopen een geringe invloed hebben. Een beperkte invloed op het Zilvermeer is niet geheel uit te sluiten. Schade aan de vegetatie zal gering zijn en door aanpassing van het irrigatiestelsel kan eventueel deze worden verholpen.

Van een waterwinning tussen de plassen van Schans en Miramar is te verwachten dat ze de oppervlaktewateren meer rechtstreeks zal beïnvloeden. Men voert naar dit gebied echter voortdurend grote hoeveelheden water aan, die wel voor een gedeelte het kanaal spijzen.

Bij een winning van 50.000 m³ per dag uit een lijnvormige batterij van 20 putten, waarvan de filters van 35 tot 85 m diepte geplaatst zijn, dient men stroomopwaarts een beschermingszone (van 50 dagen) van 90 m en stroomafwaarts van 50 m te voorzien.

BIBLIOGRAFIE

- POULTON, N.S. (1963). Analysis of data from non-equilibrium pumping tests allowing for delayed yield from storage. *Proc. Inst. Civ. Eng.* 26, 469-482.
- DE MEUTER, F.J. & LAGA, P.G. (1976). Lithostratigraphy and biostratigraphy based on benthonic foraminifera of the Neogene deposits of Northern Belgium. *Bull. Belg. Ver. Geol.* 85, 133-152.
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse Vallei. *Natuurwet. Tijdschr.* 51, 3-68.
- DICKENS, C. & POESEN, J. (1977). *Hydrografische studie van het Nete-bekken stroomopwaarts van Westerlo (Toestand 1975-1976)*, 31 p. Leuven : Fys. Geogr. K.U.L.
- EDELMAN, J.H. (1972). *Groundwater hydraulics of extensive aquifers*, 31 p. Wageningen : ILRI (Bull. 13).
- FERRIS, J.G., KNOWLES, D.B. & STALLMAN, R.W. (1962). *Theory of aquifer tests*, 174 p., Washington : U.S. Geol. Survey, Water-Supply Paper 1536-E.
- GULINCK, M. (1954). *L'Oligocène de la basse et de la moyenne Belgique*, in : Prodrôme d'une description géologique de la Belgique, 495-510, Liège : Vaillant-Carmanne.
- JACOB, C.E. (1945). Partial penetration of pumping well, adjustments for, *U.S. Geol. Survey open-file rept.* UP 34, 169-175.
- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A. (1976). *Analysis and evaluation of pumping test data*, 200 p. Wageningen : ILRI (Bull. 11).
- LAGA, P.G. (1973). *The Neogene deposits of Belgium (Guide Book for the field meeting of the Geol. Soc. London : 31 march - 3 april 1973)*, 31 p., Brussel : Geol. Dienst België.
- LEEBE, L. (1978). *Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne*, 164 p., Gent : Geol. Inst. R.U.G. (Proefschrift).
- PIPER, A.M. (1944). A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Am. Geophys. Un. Trans.* 25, 914-923.
- TODD, D.K. (1959). *Ground water hydrology*, 336 p. New York : John Wiley.

DANKWOORD

We houden eraan degenen, die bijgedragen hebben tot de verwezenlijking van de studie, hetzij door het verstrekken van inlichtingen, hetzij door materiële of logistieke steun hartelijk te danken. Naast de opdrachtgevers, de Administratie van het Mijnwezen, de Kerngroep voor het Waterbeleid en de PIDPA, vernoemen we hier als belangrijkste :

De Nieuwe Zandgroeven van Mol, N.V. (WOUTERS)

Smet-DB, N.V. (COOLS, M. SMET)

Sibelco, N.V., Dessel (L. HUYGHEBAERT, I. WITTEWRONGEL)

Sterrenkundig observatorium R.U.G. (C. VERNEMMEN)

Studiecentrum voor Kernenergie, Mol (H. BULTYNCK, I.G. KRETSCHMAR)